

Humboldt-Universität zu Berlin

Dissertation

Wassernutzung und Wassermangelempfindlichkeit bei Sommerweizen

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor rerum agriculturalarum

(Dr. rer. agr.)

eingereicht an der

Lebenswissenschaftlichen Fakultät

von

M. Sc. agr. Ines Bräseman

Dekan: Prof. Dr. Richard Lucius

Gutachter/in: 1. Prof. Dr. Helmut Herzog
 2. Prof. Dr. Klaus Dittert
 3. Prof. Dr. Christof Engels

Tag der mündlichen Prüfung: 30.04.2015

Summary

In pot and field experiments water use, biomass accumulation, grain yield, yield structure and nitrogen utilization of 2 Mediterranean (Golia, Gönen) and in total 8 mid-European spring wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) were studied. 3 of the mid-European and the 2 Mediterranean cultivars were tested in field as well as in pot experiments.

Two-factorial pot experiments were carried out in 3 years from March to July in a wire house under field site conditions with rain shelter to quantify effects of two watering treatments (well watered, water deficit after heading) and to figure out possible differences between cultivars. Biomass accumulation and grain yield both showed strong genotypic influence and were significantly reduced by water deficit in two years. Grain yield ranged between 2.6 and 6.1 g plant⁻¹, whereas mid-European cultivars out yielded the Mediterranean ones and Italian cultivar Golia showed higher grain yield than Turkish cultivar Gönen. Values for crude protein varied between 8.7 % and 12.6 % with Golia and Gönen showing measurably higher crude protein content than the mid-European cultivars. On the other hand, N-amount in grain was much higher in mid-European cultivars and ranged from ~ 48 mg to ~ 108 mg. Clear differences between cultivars also occurred in Water use efficiency (WUE) which ranged from 0.96 and 1.72 g L⁻¹ with mid-European cultivars having higher WUE than Golia and Gönen because of simultaneously higher Evapotranspiration efficiency (ETE) and Harvest-Index (HI).

In conclusion the studied cultivars from mid-Europe and therefore temperate climate seem to be more suitable for cultivation under conditions where water supply is limited especially after heading than cultivars from Mediterranean climate.

One-Factorial field experiments were realized in 2 years on the experimental station of the Humboldt-University at Berlin-Dahlem (52° 28' N; 13° 18' E) from March to July under sub-humid temperate climate to find out possible differences between mid-European and Mediterranean cultivars. In addition, rank orders of cultivars found in the parallel conducted pot experiments should be compared with those found under field conditions. Biomass and grain yield were strongly influenced by cultivar. Grain yield ranged from 210 g m⁻² to 391 g m⁻² in 2-years-average between cultivars with mid-European cultivars showing higher grain yield than Turkish cultivar Gönen and Italian cultivar Golia reaching yield level of mid-European cultivars. Early drought in spring

2011 led to lower yields only in Mediterranean cultivars compared to yield under terminal drought in 2010 whereas grain yield of mid-European cultivars was comparably stable between years. Crude protein content varied between 15.7 % and 19.9 % in 2-years average between cultivars and showed interaction between cultivar and year with no clear difference between Mediterranean and mid-European cultivars. Water use efficiency (WUE) showed values between $0.55 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ and $1.07 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ and was higher in mid-European cultivars than in Gönen because of higher ETE and slightly higher Harvest-Index (HI). Golia reached level of mid-European cultivars in WUE and ETE but not in HI. Therefore mid-European cultivars seem to be already well adapted to different climatic situations by showing high yield and WUE under terminal drought as well as under early drought in spring and pre-summer. Mediterranean cultivars on the other hand seem to cope well with terminal drought but are very susceptible to unfavorable conditions in their early development (early drought).

Zusammenfassung

In Gefäß- und Feldversuchen wurden Wassernutzung, Biomassebildung, Korn-Ertrag, Ertragsstruktur und N-Verwertung von zwei mediterranen (Golia, Gönen) und insgesamt acht mitteleuropäischen Sommerweizensorten (*Triticum aestivum* L.) untersucht. Drei der mitteleuropäischen und beide mediterrane Sorten wurden sowohl in Gefäßversuchen als auch unter Feldbedingungen getestet.

Die 2-faktoriellen Gefäßversuche wurden in drei Jahren in einem Drahthaus unter Freilandbedingungen mit Regenschutz durchgeführt, um die Auswirkungen zweier Bewässerungsbehandlungen (optimale Bewässerung bzw. restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben) auf die genannten Parameter zu quantifizieren sowie mögliche Sortenunterschiede herauszuarbeiten. Biomassebildung und Korn-Ertrag zeigten einen starken sortentypischen Einfluss und wurden durch die restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben sortentypisch reduziert. Dabei wurden Korn-Erträge zwischen 2,6 und 6,1 g Pflanze⁻¹ erreicht, wobei die mitteleuropäischen die mediterranen Sorten deutlich übertrafen und die italienische Sorte Golia deutlich höhere Werte erzielte als die türkische Sorte Gönen. Der Rohproteingehalt reichte von 8,7 % bis 12,6 % und war bei den mediterranen Sorten deutlich höher, wobei die N-Menge im Korn bei Werten zwischen 48,3 mg und 108,0 mg bei den mitteleuropäischen Sorten deutlich höher war. Deutliche Sortenunterschiede fanden sich auch bei der Wassernutzungseffizienz (WNE) mit Werten zwischen 0,96 und 1,72 g L⁻¹. Dabei wiesen die mitteleuropäischen Sorten aufgrund gleichzeitig höherer Evapotranspirationseffizienz (ETE) und höherem Ernte-Index (EI) deutlich höhere Werte auf als die mediterranen Sorten. Das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben erhöhte die WNE nur in einem Jahr signifikant und zeigte in einem Jahr Interaktionen mit den Sorten. Somit scheinen die mitteleuropäischen Sorten für einen Anbau unter Bedingungen mit begrenztem Wasserangebot, besonders nach dem Ährenschieben, besser geeignet zu sein.

Die einfaktoriellen Feldversuche wurden in 2 Jahren von März bis Juli auf der Versuchsstation der Humboldt-Universität in Berlin-Dahlem (52° 28' N; 13° 18' E) durchgeführt, um mögliche Unterschiede zwischen mediterranen und mitteleuropäischen Sorten herauszuarbeiten. Des Weiteren sollten die in den durchgeführten Gefäßversuchen gefundenen Sorten-Rangfolgen mit denen unter Feldbedingungen verglichen werden. Biomassebildung und Korn-Ertrag zeigten einen starken Sorteneinfluss. Der Korn-Ertrag variierte dabei zwischen den Sorten von

210 g m⁻² bis 391 g m⁻² im 2-jährigen Mittel, wobei die mitteleuropäischen Sorten einen höheren Korn-Ertrag zeigten als die türkische Sorte Gönen, welche wiederum von der italienischen Sorte Golia übertroffen wurde, welche das Ertragsniveau der mitteleuropäischen Sorten erreichte. Die Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit 2011 hatte nur bei den mediterranen Sorten einen reduzierten Korn-Ertrag zur Folge verglichen mit dem Korn-Ertrag unter Dürre-Stress zur Kornfüllung 2010. Der Rohproteingehalt im Korn variierte zwischen den Sorten im 2-jährigen Mittel zwischen 15,7 % und 19,9 % und zeigte Interaktionen zwischen Sorte und Jahr ohne klare Unterschiede zwischen mitteleuropäischen und mediterranen Sorten. Die Wassernutzungseffizienz (WNE) erreichte Werte zwischen 0,55 g m⁻² mm⁻¹ und 1,07 g m⁻² mm⁻¹ und war bei den mitteleuropäischen Sorten höher als bei Gönen aufgrund höherer Evapotranspirationseffizienz (ETE) und leicht höherem Ernte-Index (EI). Golia erreichte bezüglich WNE und ETE das Niveau der mitteleuropäischen Sorten, jedoch nicht beim EI. Daher scheinen die mitteleuropäischen Sorten bereits gut an verschiedene Witterungsbedingungen angepasst, indem sie einen ähnlich hohen Korn-Ertrag sowie WNE sowohl unter spätem Wasserdefizit zur Kornfüllung, als auch bei frühem Wasserdefizit im Frühjahr und Vorsommer ausbilden können.

1. Einleitung	1
2. Material und Methoden	17
2.1 Gefäßversuche	17
2.1.1 Versuchsaufbau	17
2.1.2 Pflanzenmaterial	18
2.1.3 Versuchsbedingungen	19
2.1.4 Untersuchte Parameter	26
2.2 Feldversuche	31
2.2.1 Versuchsaufbau	31
2.2.2 Pflanzenmaterial	32
2.2.3 Versuchsbedingungen am Standort Dahlem	34
2.2.4 Bodenwasser	36
2.2.5 Düngung	39
2.2.6 Untersuchte Parameter	40
2.3 Statistik und Auswertungsmethoden	44
3. Ergebnisse	45
3.1 Ergebnisse Gefäßversuche	45
3.1.1 Wassernutzung	47
3.1.2 Biomasse und Ertrag	53
3.1.3 Ertragsstruktur	57
3.1.4 Stickstoffgehalt in Korn und Stroh	61
3.2 Ergebnisse Feldversuche	68
3.2.1 Biomasse und Ertrag	69
3.2.2 Ertragsstruktur	72
3.2.3 Wassernutzung	78
3.2.4 Proteingehalt im Korn und Stickstoff-Gehalt im Stroh	84
4. Diskussion und Schlussfolgerungen	91
4.1 Gefäßversuche	91
4.2 Feldversuche	103
5. Literaturverzeichnis	114
6. Anhang	127

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Strategien der Anpassung an Dürre-Stress bei Xerophyten (nach Levitt, 1972)	12
Abb. 2: Verlauf des Wassergehaltes des Bodens [%V/V] in den Versuchsgefäßen bei der Sorte Taifun von Aussaat (A) bis Ernte zur Reife (R) bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung im Gefäßversuch 2011	25
Abb. 3: Ausschnitt aus dem Versuchsplan 2011	31
Abb. 4: volumetrischer Bodenwassergehalt [% V/V] in den Feldversuchen 2010 und 2011 in verschiedenen Bodentiefen	38
Abb. 5: Regression der WNE [g L^{-1}] auf ETE [g L^{-1}] und Ernte-Index (EI) von 4 mitteleuropäischen und 2 mediterranen Sommerweizensorten in 3 Gefäßversuchen (2009 – 2011)	52
Abb. 6: Biomasse [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	53
Abb. 7: Korn-Ertrag [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	54
Abb. 8: TM Stroh [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	55
Abb. 9: Regression der WNE [$\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$] auf ETE [$\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$] von 7 mitteleuropäischen und 2 mediterranen Sommerweizensorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 (n=4)	83
Abb. 10: Regression der WNE [$\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$] auf den Ernte-Index (EI) von 7 mitteleuropäischen und 2 mediterranen Sommerweizensorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 (n=4)	84

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ausschnitt Versuchsplan Gefäßversuche 2009 - 2011	17
Tab. 2: Zuordnung der in den Gefäßversuchen untersuchten Sorten zu den einzelnen Versuchsjahren	18
Tab. 3: Sorteneigenschaften der Sommerweizensorten in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011 (nach Beschreibender Sortenliste des Bundesortenamtes (BSL) 2009 und 2010)	19
Tab. 4: Wassergehalt lufttrockener Boden, gravimetrischer [% G/G] und volumetrischer [% V/V] Wassergehalt des Bodens nach Sättigung zur Aussaat (A) und Lagerungsdichte (LD) in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	21
Tab. 5: Zielgrößen für den Bodenwassergehalt [% V/V] bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung während der Phase der restriktiven Bewässerung und Dauer der Phase der restriktiven Bewässerung nach dem Ährenschieben in den Gefäßversuchen 2009-2011	22
Tab. 6: Termine für Aussaat und Anzahl der Tage nach Aussaat (TNA) bis Beginn der restriktiven Bewässerung (BRB), Ende der restriktiven Bewässerung (ERB) und Reife in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	23
Tab. 7: Mittlere Wassergehalte [% V/V] des Bodens bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung während der Phase der restriktiven Bewässerung bei den Sorten in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011 (Ergebnisse der TDR-Messungen)	24
Tab. 8: Mittlere Differenz im Wassergehalt [% V/V] des Bodens zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung während der Phase der restriktiven Bewässerung bei den Sorten in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011 (basierend auf Ergebnissen der TDR-Messungen)	24
Tab. 9: Stickstoff-Düngung in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	26
Tab. 10: Sorteneigenschaften der Sommerweizensorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 (nach Beschreibender Sortenliste des Bundessortenamtes (BSL))	33
Tab. 11: monatliche Mittel der Lufttemperatur (T_{mit}) und Monatssumme der Niederschlagshöhen (NS) in den Feldversuchen 2010 und 2011 sowie langjährige Mittel am Standort Dahlem (Bezugszeitraum 1971-2000 bzw. 1981-2010)	35
Tab. 12: Bodenwassergehalte [% G/G] in verschiedenen Bodenschichten zur Aussaat, Blüte und Ernte zur Reife in den Feldversuchen 2010 und 2011	36
Tab. 13: BBCH-Stadien der Sorten zum Termin der 3. N-Gabe in den Feldversuchen 2010 und 2011	39
Tab. 14: Anzahl der Tage nach Aussaat (TNA) bis Blüte und Ernte zur Reife der Sorten in den Feldversuchen 2010 und 2011	41
Tab. 15: Varianzvergleich Wassernutzung in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	45

Tab. 16: Varianzvergleich Biomasse, Korn-Ertrag, TM Stroh und Parameter der Ertragsstruktur in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	46
Tab. 17: Varianzvergleich Rohproteingehalt im Korn und N-Gehalt im Stroh in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	46
Tab. 18: Wasserverbrauch der Sorten und relativer Effekt der restriktiven Bewässerung nach dem Ährenschieben (wd) in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	47
Tab. 19: ETE in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	48
Tab. 20: WNE in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	50
Tab. 21: Ernte-Index (EI) in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	51
Tab. 22: Stress-Index (SI) der Sorten in den Gefäßversuchen 2010 und 2011	52
Tab. 23: Stress-Susceptibility-Index (SSI) der Sorten in den Gefäßversuchen 2010 und 2011	56
Tab. 24: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen WNE und Korn-Ertrag bzw. Biomasse bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung nach dem Ährenschieben im Sortenmittel sowie im Mittel der Bewässerungsvarianten (MW) im Sortenmittel in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	56
Tab. 25: Anzahl Ähren pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	58
Tab. 26: Kornzahl pro Ähre in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	59
Tab. 27: Einzelkorngewicht (EKG) [mg] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	60
Tab. 28: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen Korn-Ertrag und Parametern der Ertragsstruktur bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung nach dem Ährenschieben in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	61
Tab. 29: Rohproteingehalt im Korn [%] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	62
Tab. 30: N-Menge im Korn [mg Pflanze ⁻¹] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	63
Tab. 31: N-Menge in der Gesamtpflanze [mg Pflanze ⁻¹] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	64
Tab. 32: N-Gehalt im Stroh [%] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	66
Tab. 33: N-Menge im Stroh [mg Pflanze ⁻¹] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	67
Tab. 34: Varianzvergleich Feldversuche 2010 und 2011	68
Tab. 35: Korn-Ertrag [g m ⁻²] in den Feldversuchen 2010 und 2011	69
Tab. 36: Biomasse [g m ⁻²] in den Feldversuchen 2010 und 2011	70
Tab. 37: Stroh-TM [g m ⁻²] in den Feldversuchen 2010 und 2011	71
Tab. 38: Anzahl Pflanzen pro m ² in den Feldversuchen 2010 und 2011	72
Tab. 39: Anzahl Ähren pro m ² in den Feldversuchen 2010 und 2011	74
Tab. 40: Anzahl Ähren pro Pflanze in den Feldversuchen 2010 und 2011	75
Tab. 41: Kornzahl pro Ähre in den Feldversuchen 2010 und 2011	76
Tab. 42: Einzelkorngewicht (EKG) [mg] in den Feldversuchen 2010 und 2011	77

Tab. 43: Wasserverbrauch [mm] in den Feldversuchen 2010 und 2011	78
Tab. 44: Evapotranspirationseffizienz ETE [$\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$] in den Feldversuchen 2010 und 2011	79
Tab. 45: Wassernutzungseffizienz WNE [$\text{g m}^{-2} \text{mm}^{-1}$] in den Feldversuchen 2010 und 2011	80
Tab. 46: Ernte-Index EI in den Feldversuchen 2010 und 2011	82
Tab. 47: Rohproteingehalt im Korn [%] in den Feldversuchen 2010 und 2011	85
Tab. 48: N-Menge im Korn [g m^{-2}] in den Feldversuchen 2010 und 2011	86
Tab. 49: Feuchtglutengehalt [%] in den Feldversuchen 2010 und 2011	88
Tab. 50: N-Gehalt im Stroh [%] in den Feldversuchen 2010 und 2011	89
Tab. 51: Rangfolge der Sorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 basierend auf mittleren Rängen für Korn-Ertrag, Biomasse, Ertragsstruktur und Rohproteingehalt (Daten gepoolt über zwei Jahre)	90
Tab. 52: Rangfolge der Sorten in den Feldversuchen basierend auf mittleren Rängen für ETE, EI, WNE und WV (Daten gepoolt über zwei Jahre)	90

Abkürzungsverzeichnis

A	Aussaat
BBCH	B iologische Bundesanstalt für Land- und Forstwissenschaft, B undessortenamt und C hemische Industrie, Skala zur einheitlichen Codierung phänologischer Entwicklungsstadien von Pflanzen
BRB	Beginn der restriktiven Bewässerung
BSL	Beschreibende Sortenliste des Bundessortenamtes
EI	Ernte-Index
EKG	Einzelkorngewicht
ERB	Ende der restriktiven Bewässerung
ETE	Evapotranspirationseffizienz
FK	Feldkapazität
k.A.	keine Angabe
L	Liter
LD	Lagerungsdichte
mL	Milliliter
nFK	nutzbare Feldkapazität
NHI	Nitrogen Harvest Index
NN	Normal-Null
n.s.	nicht signifikant
n.u.	nicht untersucht
RMT	Rapid-Mix-Test
RP	Rohprotein
SF	Standardfehler des Mittelwertes
TDR	Time Domain Reflectometry
TKG	Tausend-Korn-Gewicht
TNA	Tage nach Aussaat
wd	restriktive Bewässerung
WNE	Wassernutzungseffizienz
ww	optimale Bewässerung
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

Mit 70 % Anteil am weltweiten Wasserverbrauch ist Landwirtschaft die menschliche Aktivität mit der höchsten Wassernutzung (CHMIELEWSKI, 2011; FAO, 2010; WEGEHENKEL, 2013), wobei dieser Anteil der Landwirtschaft am Gesamtwasserverbrauch starke regionale Unterschiede aufweist. Während in Afrika 85 % des Wassers für die Landwirtschaft verwendet werden, sind es in Europa nur rund 35 %, wobei der Anteil in den nördlichen Ländern (Skandinavien) mit 12 % niedriger ist als in den südlichen Ländern mit 60 % (z.B. Griechenland oder Italien) (CHMIELEWSKI, 2011; FAO, 2010). Mehr als 80 % des weltweiten Landbaus ist regenabhängig, 20 % der globalen Anbaufläche werden bewässert (WEGEHENKEL, 2013; CHMIELEWSKI, 2011; FAO, 2010). Da Wasserknappheit eine der Hauptursachen ist, welche die Produktivität in der Pflanzenproduktion begrenzen (TURNER, 2001; BARNABÁS et al., 2008; VALLIYODAN und NGUYEN, 2006; BOYER und WESTGATE, 2004), ist Landwirtschaft, im Falle von begrenzter Wasserverfügbarkeit für das Wachstum von Kulturpflanzen und deren Bewässerung, aber auch die verwundbarste menschliche Aktivität (WEGEHENKEL, 2013). So werden Dürre und Dürrestress in vielen Gegenden der Erde zunehmend als limitierender Faktor zum Problem (IZANLOO, et al., 2008), werden dabei aber oft nur mit Regionen assoziiert, welche durch unzureichende Niederschläge gekennzeichnet sind (MCKERSIE und LESHEM, 1994), also Gebiete im semi-ariden und ariden Klima der Tropen und Subtropen, wo Dürre häufig vorkommt (CONNOR, LOOMIS und CASSMAN, 2011). Dies sind z.B. der, durch trockene heiße Sommer und feuchte gemäßigte Winter gekennzeichnete, mediterrane Raum (ACEVEDO et al., 2002) oder der Süd-Australische Weizen-Gürtel (IZANLOO et al., 2008). Doch Wasserknappheit und Dürre sind ein zunehmend häufigeres und weitverbreitetes Phänomen auch in der gesamten Europäischen Union (JACOBSEN et al., 2013), sodass bis 2007 17 % ihrer Fläche und rund 11 % der europäischen Bevölkerung von Wasserknappheit betroffen waren (JACOBSEN et al., 2013). Im mediterranen Raum wurde im letzten Jahrzehnt die zunehmende klimatische Variabilität mit schweren Dürren zu einem Hauptproblem (JACOBSEN et al., 2013), aber auch in Regionen des gemäßigten Klimas wie Teilen Englands (FOULKES et al., 2007; HISDAL et al., 2001; MARSH, 2004; MARSH et al., 2007) oder den östlichen Teilen Deutschlands tritt Dürre zeitweise auf (HERZOG, 2003; CHMIELEWSKI, 2011; HISDAL et al., 2001). Besonders betroffen sind hierbei der Hallenser Raum und die Region Berlin-Brandenburg, wo bei

weniger als 600 mm Jahresniederschlag deutliche Wasserdefizite in der klimatischen Wasserbilanz während der Vegetationszeit von April bis August auftreten (HERZOG, 2003). Doch selbst bei ausreichenden Niederschlägen oder unter Bewässerung können Pflanzen während der Mittagszeit an heißen Tagen vorübergehend einem Dürrestress ausgesetzt sein (MCKERSIE und LESHEM, 1994).

Die Auswirkungen globaler Klimaveränderungen auf regionaler Ebene sind noch nicht vollständig abzusehen. Während sich die jährlichen Niederschlagsmengen in Deutschland insgesamt vermutlich bis zum Ende des Jahrhunderts kaum verändern werden, deuten verschiedene Modelle auf eine Verlagerung von Sommerniederschlägen in die Wintermonate hin (CHMIELEWSKI 2011; GERSTENGARBE, 2003). Besonders stark wird diese Entwicklung mit bis zu 30 % niedrigeren Sommerniederschlägen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts den Süden und Südwesten Deutschlands sowie den Nordosten und die zentralen Gebiete Ost-Deutschlands treffen (SCHALLER und WEIGEL, 2007). Schon heute ist die landwirtschaftliche Produktion in Brandenburg in den Frühjahrs- und Sommermonaten stark wasserlimitiert (GERSTENGARBE, 2003) und neben der Abnahme der Sommerniederschläge, gibt es zudem Hinweise auf eine Abnahme der jährlichen Niederschlagssumme für Brandenburg (GERSTENGARBE, 2003). Die abnehmenden Sommerniederschläge in Verbindung mit höheren Temperaturen führen dann immer öfter zu sinkenden Bodenwassergehalten infolge höherer Verdunstung und geringerer Sickerwasserbildung (CHMIELEWSKI 2011, GERSTENGARBE, 2003).

Die Verfügbarkeit von Wasser für Wachstum und Entwicklung von Pflanzen ist neben der jährlichen Höhe und Verteilung der Niederschläge, auch von den am Standort gegebenen Bodeneigenschaften abhängig, wie der Fähigkeit zur Speicherung von Wasser (CHMIELEWSKI 2011). Als optimale Werte für die Bodenfeuchtigkeit gelten 60 – 80 % der nutzbaren Feldkapazität (nFK), während kritische Gehalte bei 50 % nFK liegen (HERZOG, 2003) und mit deutlichen Ertrags- und Wachstumsdepressionen zu rechnen ist, wenn die Bodenfeuchtwerte unter 30 – 40 % nFK absinken (CHMIELEWSKI 2011). Die leichten, sandigen Böden der Region Berlin-Brandenburg mit ihrer geringen Speicherkapazität begünstigen dabei das Auftreten von Dürre-Perioden (CHMIELEWSKI 2011). Mit seinen Jahresniederschlagssummen zwischen 500 und 650 mm sowie den verbreitet auftretenden sandigen Böden ist Brandenburg im Vergleich zu anderen Teilen Deutschlands als trocken einzustufen und gilt sogar als „wasserarm“ (GERSTENGARBE, 2003).

Wasserknappheit ist dabei aber nicht nur eine Folge der natürlichen Gegebenheiten an einem Standort, sondern hat zunehmend auch anthropogene Ursachen. Durch stetiges Bevölkerungswachstum und wachsenden Wohlstand steigt der Wasserbedarf in Industrie und Privathaushalten auch in regenarmen Regionen, sodass Wasser zunehmend zu einem wertvollen, aber knappen Gut wird (HERZOG 2003; CHMIELEWSKI 2011), wobei ein „knappes Gut“ dabei nach ökonomischer Definition „ein Gut“ ist, „dass nicht zu jeder Zeit an jedem gewünschten Ort in der gewünschten Qualität und Menge zur Verfügung steht.“ (GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON, 2013). Das knappe Angebot in Verbindung mit steigender Nachfrage zieht wiederum steigende Kosten für die Ressource Wasser in der Landwirtschaft nach sich (HERZOG 2003).

Weizen wurde 2012 auf einer Fläche von weltweit rund 220 Millionen Hektar angebaut (FAO, 2013) und ist damit bezogen auf die Anbaufläche die weltweit bedeutendste Getreideart vor Mais und Reis. Mit einer weltweiten Produktion von rund 675 Millionen Tonnen (FAO, 2013) nimmt Weizen hinter Mais (875 Mio. t) und Reis (718 Mio. t) den dritten Platz ein. Die drei größten Weizenproduzenten weltweit waren 2012 China (121 Mio. t), Indien (95 Mio. t) und die USA (62 Mio. t), während Deutschland (22 Mio. t) auf dem neunten Platz lag (FAO, 2013). Die höchsten Erträge pro Hektar wurden mit Werten zwischen 8,9 und 8,3 t ha⁻¹ in Neuseeland, den Niederlanden und Belgien erzielt (FAO, 2013). Rund zwei Drittel des produzierten Weizens wird für die menschliche Ernährung verwendet und jeweils ein Sechstel entfällt auf die Tierernährung bzw. industrielle Nutzung, Saatgut und Nachernteverluste (MONNEVEUX et al., 2012). Der hohe Anbauumfang des Weizens ergibt sich dabei aus seiner Anpassung an eine weite Spanne von Umweltbedingungen (MONNEVEUX et al. (2012); ACEVEDO et al., 2002; SHEWRY, 2009) wobei drei Viertel der Weizenanbaufläche eine jährliche Niederschlagssumme zwischen 375 und 875 mm aufweisen (MONNEVEUX et al., 2012). Nach MCKERSIE und LESHEM (1994) gehört Weizen zu den mäßig dürretoleranten Arten und weist eine etwas höhere Dürretoleranz auf als Gerste und Roggen.

Das am häufigsten angewandte Kriterium für die Backqualität und wichtiger Faktor für die Bestimmung des Weizenpreises ist der Rohproteingehalt (BARNEIX, 2006; DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006). Er kann klassisch, chemisch aus dem mit KJELDAHL im geschroteten Korn bestimmten Stickstoffgehalt errechnet werden (DIEPENBROCK et al., 2005; DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006) oder auch als Schnellbestimmung mit der NIR- (Nah-Infrarot-Reflexions)Methode (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006). Der

Rohproteingehalt bei Weizen kann in hohem Maße durch die Prozessführung insbesondere die Stickstoffdüngung beeinflusst werden (BUNDESSORTENAMT, 2010; BARNEIX, 2006). Da Protein nur einen Anteil von 10 – 15 % an der Korn-Trockenmasse hat und der Korn-Ertrag größtenteils eine Folge von Stärke-Akkumulation ist, existiert zwischen Korn-Ertrag und Rohprotein-Gehalt im Korn grundsätzlich eine negative Korrelation (TRIBOI und TRIBOI-BLONDEL, 2002). Demzufolge verursacht jede Erhöhung der Stärke-Akkumulation eine Verdünnung des Protein-Gehaltes, wenn nicht gleichzeitig eine entsprechende Erhöhung der N-Akkumulation stattfindet (BARNEIX, 2006). Somit wirkt sich jeder Umweltfaktor der den Ertrag beeinflusst, also gleichzeitig auch auf den Rohproteingehalt des Korns aus (BARNEIX, 2006). Mehr als die Hälfte des Rohproteingehaltes im Korn wird dabei durch die Umwelt bestimmt, während genetische Faktoren eine kleinere Rolle spielen (TRIBOI und TRIBOI-BLONDEL, 2002). Daneben korreliert der Rohproteingehalt eng mit dem Feuchtglutengehalt (DIEPENBROCK et al., 2005), dessen Zusammensetzung wiederum von ausschlaggebender Bedeutung für die Backqualität ist (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006), da sie das Quellvermögen und die Elastizität des Teiges beeinflusst (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006; DIEPENBROCK et al., 2005).

Weitere wichtige Qualitätskriterien bei Weizen sind Sedimentationswert, Fallzahl, Volumenausbeute, Elastizität und Oberflächenbeschaffenheit des Teiges, Wasseraufnahme und Mehlausbeute (DIEPENBROCK et al., 2005). Auf Grundlage definierter Mindestanforderungen bei diesen wichtigsten Qualitätseigenschaften inklusive Rohproteingehalt (Back- und Mahleigenschaften) werden Weizen in Deutschland in 5 Qualitätsklassen eingeordnet (BUNDESSORTENAMT, 2010; DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006). Drei von den fünf Qualitätsgruppen sind für Backzwecke geeignet: Eliteweizen (E-Weizen), Qualitätsweizen (A-Weizen) und Brotweizen (B-Weizen) (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006; BUNDESSORTENAMT, 2010). Gruppe C erfasst sonstige Weizen und Gruppe K Weizen für die Keks- und Biskuitherstellung (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006; BUNDESSORTENAMT, 2010). Der Sedimentationswert nach ZELNY gibt Auskunft über die Quellfähigkeit der Kleberproteine und damit die Eiweißqualität (DIEPENBROCK et al., 2005; DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006; BUNDESSORTENAMT, 2010). Der Sedimentationswert ist sortenspezifisch und korreliert positiv mit dem Proteingehalt (BUNDESSORTENAMT, 2010). Die Fallzahl nach HAGBERG ist ein Maß für die Qualität (Struktur und Beschädigung) der Stärke im Weizenkorn und gibt Hinweise auf Auswuchs (DIEPENBROCK et al., 2005; DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006).

Die Volumenausbeute wird im Rapid-Mix-Test (RMT), einem standardisierten Backversuch, bestimmt. Maßgeblich ist dabei das erzielte Volumen der Gebäcke in Milliliter bezogen auf 100 g Mehl (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006). Die Wasseraufnahme ist wiederum von Bedeutung für Teigausbeute und Teigfestigkeit. Sie wird bestimmt von Rohproteingehalt, Quellfähigkeit des Gluten und der Kornhärte. Harte Körner haben eine höhere mechanische Stärkebeschädigung und nehmen deshalb mehr Wasser auf (BUNDESSORTENAMT, 2010). Mittlere Ausprägungen für Backweizen sind 13,0 – 13,3 % Rohproteingehalt im Korn, eine Fallzahl von 256 – 285 Sekunden, ein Sedimentationswert von 33 – 39, eine Volumenausbeute von 622 – 651 ml sowie eine Wasseraufnahme von 57,9 – 59,4 % und eine Mehlausbeute von 73,8 – 75,7 % (BUNDESSORTENAMT, 2010).

Ein Dürrestress während der Vegetationsphase bewirkt im Allgemeinen zumeist eine Reduktion der Biomasse und auch des für den Landwirt im Getreideanbau wichtigen Korn-Ertrages, wie zahlreiche Studien belegen (AL-THABET, 2006; ANYIA et al., 2007; BALOCH et al., 2012; DENČIĆ et al., 2000; DODIG et al., 2012; EREKUL et al., 2012; GEVREK und ATASOY, 2012; IZANLOO et al., 2008, SCHNITTENHELM et al., 2011). Das reduzierte Wachstum ist dabei eine Folge der Anpassungsreaktionen der Pflanze auf veränderte Bedingungen im Boden-Pflanze-Atmosphäre-Kontinuum. Um CO₂ für die Photosynthese aus der umgebenden Luft aufzunehmen, müssen Pflanzen ihre Stomata (Spaltöffnungen) öffnen (CONNOR et al., 2011). Die Umgebungsluft ist aber meistens weitaus trockener als die Luft im geschützten Innenraum des Blattes, hat also ein geringeres Wasserpotential (LOOMIS und CONNOR, 1992). Wasser fließt entlang des Potentialgradienten vom feuchten Boden über die Wurzeln in die, der ausgesetzten, Blätter (CONNOR et al., 2011). Durch den Potentialgradienten zwischen Blatt und Umgebungsluft ist jede Aufnahme von CO₂ mit einem erheblichen Wasserverlust (Transpiration) verbunden (LOOMIS und CONNOR, 1992; CONNOR et al., 2011). Dieser Wasserverlust muss kontrolliert oder ersetzt werden, wenn die Pflanze ihren Turgor und ihren Stoffwechsel aufrechterhalten will (CONNOR et al., 2011). Um die Transpiration zu verringern werden zu einen die Stomata geschlossen und zum anderen kann die Pflanze die transpirierende Blattfläche durch z.B. verstärkte Seneszenz reduzieren. Beide Maßnahmen ziehen dann jedoch eine Reduktion der Photosynthese nach sich (LOOMIS und CONNOR, 1992). Ungleichgewichte zwischen Wasseraufnahme und Transpirationsverlusten sind ein tägliches Merkmal des Wasserstatus von Pflanzen in allen Umwelten, wobei Probleme immer dann auftreten, wenn das interne Wasserdefizit

in der Pflanze besonders hoch wird oder über einen längeren Zeitraum anhält (CONNOR et al., 2011).

Der Ertrag des Weizens, und auch der anderen Getreide-Arten, ergibt sich aus drei wesentlichen Parametern der Ertragsstruktur, deren Ausprägung zum Einen von genetischen Informationen und zum Anderen von regulativen Umweltbedingungen abhängig ist (DIEPENBROCK et al., 2005): Bestandesdichte (Ähren m^{-2}), Kornzahl pro Ähre und Tausendkorngewicht (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006). Die Ertragskomponenten werden dabei in verschiedenen Entwicklungsstadien des Weizens ausgeprägt (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006). Ein Dürrestress kann, in Abhängigkeit von der Umwelt, in allen Entwicklungsphasen auftreten (ACEVEDO et al., 2002; CONNOR et al., 2011). Da die Empfindlichkeit der Ertragsbildung des Weizens gegenüber einem abnehmenden Wasserangebot im Laufe seiner Entwicklung unterschiedlich hoch ist, sind Auswirkungen von Wassermangel auf Ertragsbildung und Qualität vielfältig und abhängig vom Zeitpunkt des Auftretens der Dürre-Phase (HERZOG, 2003; RAJALA et al., 2009) sowie ihrer Intensität (TRIBOI und TRIBOI-BLONDEL, 2002) und ihrer Dauer (FAROOQ et al., 2009). Die Vielfältigkeit der Auswirkungen ergibt sich daraus, dass jeweils andere Parameter der Ertragsstruktur beeinflusst werden (RAJALA et al., 2011). Minderungen eines Parameters der Ertragsstruktur durch einen Stress können teilweise durch einen später ausgebildeten Parameter kompensiert werden, wenn die Bedingungen dann vorteilhafter sind (CONNOR et al., 2011).

Ein früh in der Entwicklung auftretender Dürre-Stress (Keimung bis Schossen), kann die Anzahl Seitentriebe und damit die Bestandesdichte erheblich reduzieren, mit dramatischen Folgen für den späteren Korn-Ertrag (HRSTKOVÁ et al., 2010). Trockenheit kann auch insgesamt die Aufnahme von Nährstoffen aus dem Boden maßgeblich beeinträchtigen, sodass eine Unterversorgung der Pflanzen die Folge sein kann (CHMIELEWSKI, 2011; ROSE und BOWDEN, 2013), die sich dann in Wachstumsdepressionen äußern kann.

Als Phase mit der maximalen Empfindlichkeit, bezogen auf die Ertragsbildung, gilt jedoch das Ende der generativen Phase, die Blüte (HERZOG, 2003). Für die Festlegung des Korn-Ertrages sind dabei besonders die Umweltbedingungen wichtig, die in der Phase von 20 Tagen vor bis 10 Tage nach der Blüte herrschen (SAVIN und SLAFER, 1991; COSSANI et al., 2009), da in der Endphase des Schossens sowie der Phase des Ährenschiebens die Anzahl Körner pro Ähre, ein wichtiger Parameter für den späteren Korn-Ertrag, festgelegt wird (DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006). Besonders bei Weizen ist

die Anzahl Ährchen pro Ähre stark von der Umwelt abhängig, sodass sie bei ungünstigen Bedingungen ertragswirksam abnehmen kann (DIEPENBROCK et al., 2005). Ein Wasserdefizit, wie z.B. die in der Region Berlin-Brandenburg häufig vorkommende Vorsommertrockenheit, kann die Anzahl fruchtbarer Blüten pro Ährchen und die Anzahl Körner pro Ähre um die Hälfte bzw. rund 35% im Vergleich zu optimaler Bewässerung reduzieren und sich damit ganz erheblich auf das Ertragspotential auswirken (RAJALA et al., 2009). Die Reduktion des Ertragspotential ist dabei eine Folge der sehr engen Korrelation von Kornzahl und Korn-Ertrag (COSSANI et al., 2009). Ein geringes Wasserangebot ab dem Ährenschieben kann zudem dazu führen, das späte Stickstoffgaben, die neben der Absicherung von Kornzahl und Kornfüllung (Tausendkorngewicht), den Proteingehalt im Korn erhöhen sollen, nicht optimal aus dem Boden aufgenommen und verwertet werden können (GÖTZ et al., 2008).

In den meisten Weizenanbaugebieten, besonders aber in mediterranen Regionen wie Italien und der Türkei, wird insbesondere die Kornfüllungsphase des Weizens durch häufig auftretende Sommertrockenheit, verursacht durch steigende Temperaturen und abnehmendes Wasserangebot, beeinflusst (BLUM, 1998; BORCHI et al., 1997). Auf die Anzahl Körner hat eine Dürre nach der Blüte allerdings keinen Einfluss mehr, der Haupteffekt ist eher eine reduzierte Produktion von Kohlenstoff-Assimilaten zur Stärkeeinlagerung in Korn, während die Stickstoff-Menge pro Korn nicht beeinflusst wird (TRIBOI und TRIBOI-BLONDEL, 2002). Die reduzierte Produktion von Kohlenstoff-Assimilaten ist wiederum eine Folge der durch das Wasserdefizit reduzierten Photosynthese. Auch auf die Anzahl Seitentriebe hatte ein Wasserdefizit zur bzw. nach der Blüte keinen Einfluss mehr (WELDEAREGAY et al., 2012). Neben einem reduzierten Hektolitergewicht und den resultierenden Ertragsverlusten (BLUM, 1998) sind durch einen Dürrestress während der Kornfüllung auch starke Schwankungen von Gehalt und Zusammensetzung des Rohproteins im Korn zu erwarten (BORCHI et al., 1997), mit entsprechenden Auswirkungen auf die Backqualität des Weizens. Die Wirkung dieses späten Dürre-Stresses ist zudem dieselbe wie die von steigenden Temperaturen in dieser Phase: Die N-Menge im Korn verändert sich nicht, während die Stärke-Einlagerung in die Körner deutlich reduziert ist (TRIBOI und TRIBOI-BLONDEL, 2002).

Bisherige Untersuchungen zum Einfluss klimatischer Bedingungen auf die Backqualität von Weizen beschränkten sich auf die gemäßigten Klimaregionen der entwickelten Länder und der dortigen Sorten, sodass heute ein großer Bedarf an Forschung für die mediterranen Klimate auf diesem Gebiet besteht (EREKUL et al., 2009). Für

Weizensorten aus der Türkei, wo derzeit auf einem Drittel der landwirtschaftlichen Nutzfläche Weizen angebaut (GÖTZ et al., 2008) wird und 2012 durchschnittliche Erträge von 2,7 Tonnen pro Hektar (FAO, 2013) erzielt wurden, herrscht derzeit noch ein Mangel an Informationen zur Qualität, was bisher eine Einordnung der türkischen Weizensorten in Qualitätsgruppen, wie es z.B. in Deutschland üblich ist, verhinderte und ein großes Hindernis für die Vergleichbarkeit mit internationalen Weizengenotypen darstellt (GÖTZ et al., 2008). Dies ist insbesondere ein Problem beim Zugang zu internationalen Märkten, speziell denen der Europäischen Union (GÖTZ et al., 2008). Ein weiteres Problem des Weizenanbaus in der Türkei ist, dass der in der Türkei produzierte Weizen zumeist kaum den Qualitätsansprüchen der verarbeitenden Nahrungsmittelindustrie entspricht und Weizen hoher Qualität importiert werden muss (EREKUL et al., 2009).

Neben den Auswirkungen auf Ertrag und Qualität des Weizens sind vor dem Hintergrund steigender Rohstoffpreise auch finanzielle und umweltrelevante Aspekte des durch Dürre-Phasen nicht aufgenommenen, im Boden verbleibenden Stickstoffs zu berücksichtigen, der dann möglicherweise ausgewaschen wird.

All dies erfordert die Entwicklung von Anpassungsstrategien für die pflanzliche Produktion. Da starke Wasserdefizite in rentabler Landwirtschaft aber nur selten auftreten, sollte dabei aber nicht die Frage im Vordergrund stehen, wie Nutzpflanzen unter extremer Dürre überleben können (PASSIOURA, 2002 in FLEURY et al., 2010), sondern vielmehr wie Weizen auch unter Bedingungen, in denen Wasser limitiert ist weiterhin wachsen und Ertrag bilden kann (FLEURY et al., 2010).

Aus Sicht von Agronomen, Pflanzenzüchtern und Pflanzenphysiologen ist Dürre-Resistenz, die gewöhnlich als Korn-Ertrag unter Dürre quantifiziert wird (ACEVEDO et al., 2002), kein komplexes Merkmal, was BLUM (2011) hauptsächlich auf den Erfolg von Management-Maßnahmen beim Umgang mit Dürrestress zurückführt. So könnten einfache Lösungen basierend auf einfachen Pflanzenmerkmalen, wie z.B. eine verbesserte Durchwurzelungstiefe auf Standorten mit verfügbarem Wasser in tieferen Bodenschichten, Pflanzen bei Dürrestress gut unterstützen (BLUM, 2011; HERZOG, 2003). Erreicht werden könnte diese verbesserte Durchwurzelungstiefe, indem man bei einem in der vegetativen Phase der Entwicklung auftretenden Wasserdefizit nicht sofort mit Bewässerung beginnt, da geringfügige Wasserdefizite sich positiv auf die Entwicklung des Wurzelsystems auswirken können (HERZOG, 2003; TAIZ und ZEIGER, 1999). Da die Photosynthese erst später als das Blattwachstum durch das Wasserdefizit

gedrosselt wird, können produzierte Assimilate stattdessen für das Wachstum der Wurzel eingesetzt werden, die sich dann in tiefere, feuchtere Bodenschichten ausdehnen können (TAIZ und ZEIGER, 1999). Dies funktioniert aber nur bis zum Beginn der reproduktiven Phase, in der nach TAIZ und ZEIGER (1999) reproduktive Organe und Wurzeln zunehmend um Assimilate konkurrieren. Eine solche Reaktion auf ein sehr frühes Wasserdefizit im Sinne einer Härtung fanden KANG et al. (2005) bei Mais.

In regenarmen Regionen wäre Bewässerung eine nahe liegende Lösung, um den Wassermangel zu kompensieren. Dies ist jedoch oftmals, aufgrund der Konkurrenz mit Industrie und Privathaushalten um Wasser, mit hohen Kosten verbunden, welche aus ökonomischer Sicht eine Bewässerung von landwirtschaftlichen Kulturen nicht erlauben (HERZOG, 2003; BOYER und WESTGATE, 2004) bzw. auf bewässerungswürdige Kulturen beschränkt werden sollte. Bewässerungswürdig ist eine Kultur im Allgemeinen dann, wenn die Kosten für die Bewässerung von dem Mehrerlös, der durch die Bewässerung entsteht gedeckt werden (ALBRECHT et al., 2003). Bewässerungswürdige Kulturen sind in gemäßigten Breiten z.B. Kartoffeln, Zuckerrüben, Mais, Braugerste, Obst, Gemüse und auch Qualitätsweizen (CHMIELEWSKI, 2011).

Das übergeordnete Ziel sollte aber vielmehr ein insgesamt sparsamerer und effizienterer Umgang mit Wasser in der Landwirtschaft sein. In einer von MACHOLDT (2012) durchgeführten Befragung von Landwirten in Nordostdeutschland ergab sich, dass 70 % der befragten Landwirte bereits durch verschiedene Maßnahmen auf von ihnen bemerkten klimatischen Veränderungen, wie z.B. die Zunahme von Trockenheit und Dürreperioden, reagieren. Genannte Maßnahmen waren dabei angepasste Fruchtfolgen mit Einbeziehung von Zwischenfrüchten, Winterbegrünung oder Untersaaten und die Umstellung auf Mulch- oder Direktsaatverfahren bzw. nicht wendende Bodenbearbeitung (MACHOLDT, 2012). Die flache Bodenbearbeitung sorgt dafür, dass mehr Feuchtigkeit im Boden bleibt (CHMIELEWSKI, 2011; HERZOG, 2003). An Trockenstandorten rät CHMIELEWSKI (2011) vom Zwischenfruchtanbau dagegen eher ab, um eine Gefährdung für die nachfolgende Kultur auszuschließen. Aber auch die Sortenwahl kann einen entscheidenden Beitrag zu sicheren Erträgen unter sich verändernden klimatischen Bedingungen leisten. In Entwicklungsländern haben Landwirte traditionell Landrassen angebaut, die gut an starke Dürre angepasst sind, in „guten Jahren“ bei reichlich Niederschlag aber nur geringe Erträge bringen (MONNEVEUX et al., 2012). Auch der Anbau von Hybridsorten bei Winterweizen und Winterroggen könnte eine Lösung sein. In einer Untersuchung von PAUK et al. (2010)

zeigte sich, dass die untersuchte Hybridweizensorte Hyland über ein hohes Ertragspotential und eine gute Anpassungsfähigkeit verfügt, was dazu führte, dass sie den untersuchten 23 konventionellen Sorten aus verschiedenen europäischen Ländern an allen 11 untersuchten Standorten überlegen war. Die höheren Erträge bei den Hybridsorten sind dabei auf den Heterosiseffekt zurückzuführen (MACHOLDT, 2012), die Überlegenheit der ersten Filialgeneration (F1) gegenüber dem Mittel der gekreuzten homozygoten Eltern (BECKER, 2011). Aufgrund der bekannten negativen Korrelation zwischen Ertrag und Rohproteingehalt unterlag Hyland dann aber erwartungsgemäß den meisten konventionellen Sorten in Bezug auf die Qualität (Fallzahl, Feuchtglutengehalt) (PAUK et al., 2010). In der von MACHOLDT (2012) durchgeführten Befragung gab ein Großteil der Befragten an, bei der Sortenwahl bereits heute auf Eigenschaften wie Ertragsstabilität sowie Hitze- und Trockentoleranz zu achten. MICHEL und ZENK (2010) sowie MACHOLDT (2012) empfehlen daher die Einbeziehung von neuen Parametern zur Einschätzung von Umweltstabilität (Ökovalenz und Ökoregression) und Trockentoleranz in die spezifischen Sortenempfehlungen.

Neben einem verbesserten Management kann auch die Pflanzenzüchtung einen wichtigen Beitrag zur besseren Ausnutzung der vorhandenen Wasserressourcen und deren Umwandlung in Biomasse und Korn-Ertrag leisten. So können Weizensorten aus dem mediterranen Raum, mit ihrer Anpassung an das dortige trocken-warme Klima, als potentielle Quelle für eine verbesserte Dürre-Resistenz bei mitteleuropäischen Sorten betrachtet werden, die in der Pflanzenzüchtung genutzt werden könnte. Die Herausforderung für den Züchter ist dabei, Sorten zu entwickeln, die das vorhandene Wasser sowohl in trockenen, aber gleichzeitig auch in feuchteren Jahren optimal ausnutzen (CONNOR et al., 2011). Zukünftiger Fortschritt bei der Entwicklung dürretoleranten Keimplasmas ist dabei abhängig von der Effizienz der Züchtungs- und Phänotypisierungsmethoden (MONNEVEUX et al., 2012). Die Dürre-Phänotypisierung setzt dabei die genaue Definition von Zielumgebung, Auswahl und Charakterisierung der Test-Umwelt sowie von Management und Charakterisierung des Stresses voraus (MONNEVEUX et al., 2012). Aus dem Blickwinkel der Genetiker betrachtet wird Dürre-Resistenz zumeist als sehr komplex angesehen (FLEURY et al., 2010; BLUM, 2011). So werden im Labor hunderte Gene gefunden, die bei Dehydrierung hoch oder herunter reguliert werden (BLUM, 2011). Das Auffinden dieser beteiligten Gene ist dabei ein langer komplexer Weg, was jedoch nicht bedeuten muss, dass das Ziel, die Dürre-Resistenz ebenfalls komplex ist (BLUM, 2011).

Im Allgemeinen beinhaltet Resistenz nach dem pflanzenspezifischen Stress-Konzept von LEVITT (1980) zwei Komponenten, Stress-Vermeidung und Stress-Toleranz, die miteinander verknüpft sind (Abb. 1). Unter Stress-Vermeidung, auch „avoidance“, versteht man die Fähigkeit von Pflanzen, basierend auf morphologischen oder physiologischen Eigenschaften, durch eine äußere Belastung (stress) ausgelöste innere Anspannungen (strain) unter einen Erwartungswert zu drücken bzw. den Stress aus dem betreffenden Gewebe teilweise oder komplett auszuschließen und mit der Vermeidung des Stresses auch die Anspannung zu vermeiden (LEVITT, 1980), also auch unter Dürre bzw. geringem Wasserpotential der Umgebung, einen hohen Blattwasserstatus aufrecht zu erhalten (BLUM, 2005; LOOMIS und CONNOR, 1992; LEVITT, 1972). Stress-Toleranz, auch „tolerance“, ist wiederum eine plasmatische Komponente der Resistenz und die Fähigkeit innere Anspannungen bis zu einem bestimmten Punkt zu erdulden bzw. zu tolerieren und erlauben es der Pflanze bis zu Ende des Stresses zu überleben und den normalen Stoffwechsel, Wachstum und Entwicklung nach dem Ende des Stresses wiederaufzunehmen (LEVITT, 1980). Dabei wird die Stress-Vermeidung als fortschrittlichere Methode gegenüber der Toleranz angesehen, da die Vermeidung es der Pflanze erlaubt, nicht nur bis zum Ende des Stresses zu überleben, sondern während des Stresses Stoffwechsel, Wachstum und Entwicklung fortzusetzen (LEVITT, 1980).

Um den Dürrestress zu vermeiden, gibt es bei Pflanzen zwei verschiedene Strategien, Wassersparer („water savers“) und Wasserverbraucher („water spenders“) (LEVITT, 1972). Während Wassersparer bei einem Dürrestress ihre Stomata rasch schließen, einen hohen epidermalen Widerstand haben und sich durch eine hohe ETE und eine hohe Transpirationseffizienz des Blattes auszeichnen, um Wasser zu konservieren) transpirieren Wasserverbraucher bei mäßig-starkem Stress durch lange offengehaltene Stomata und höhere Durchflussraten deutlich mehr als Wassersparer (BARNABÁS et al., 2008; LEVITT, 1972). Bei beiden Anpassungsstrategien halten die Pflanzen ihr hohes Wasserpotential aufrecht, wenn ein Wasserdefizit auftritt (LEVITT, 1972).

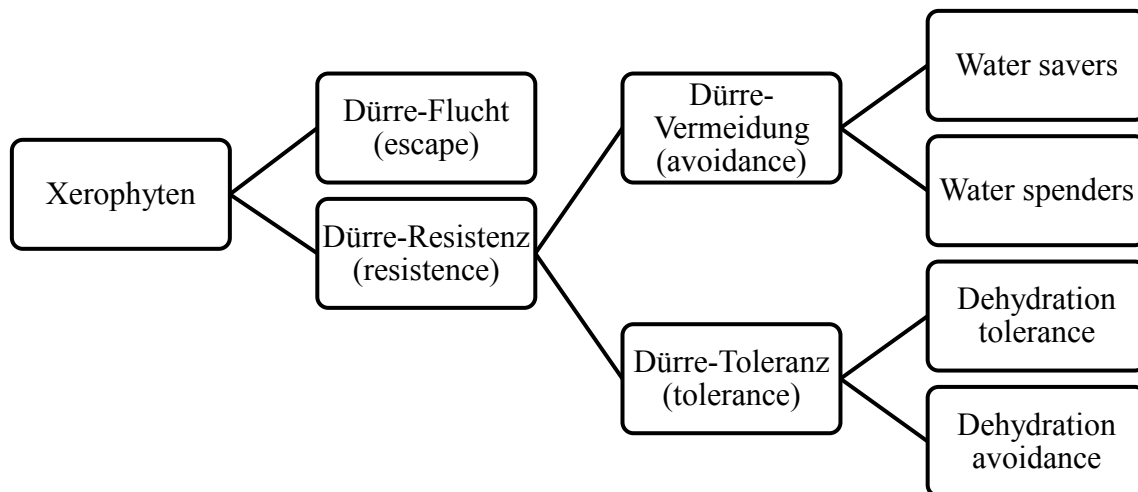


Abb. 1: Strategien der Anpassung an Dürre-Stress bei Xerophyten (nach Levitt, 1972)

Bei der Toleranz von Dürrestress wird wiederum zwischen der Vermeidung der Entwässerung (dehydration avoidance) und der Toleranz der Entwässerung (dehydration tolerance) der Zellen unterschieden. Bei erster wird das osmotische Potential (ψ_{os}) in der Zelle durch Anreicherung verschiedener Osmotika aktiv gesenkt. Bei der Entwässerungs-Toleranz sinkt das Wasserpotential der Zellen dagegen passiv.

Die Dürre-Resistenz ist dabei klar gegenüber der Dürre-Flucht (drought escape) abzugrenzen, die sich meist einer verkürzten Vegetationszeit und einer generellen Frühreife äußert, um die Reproduktion vor dem Beginn des Stresses abzuschließen (BARNABÁS et al., 2008). Jedoch ist die Züchtung auf Frühreife zumeist mit niedrigeren Erträgen in Jahren mit ausreichender Wasserversorgung verbunden (LEVITT, 1980).

Neben einer verbesserten Resistenz gegenüber Dürre, kann die auch Züchtung von Nutzpflanzen mit höherer Wassernutzungseffizienz als ein Teil der Lösung betrachtet werden (CONDON et al., 2004).

Für die Wassernutzungseffizienz existieren in der Literatur unterschiedliche Definitionen, welche abhängig sind vom Maßstab und den betrachteten ausgetauschten Einheiten, aber alle eine Messung des Wasser beinhalten, welches für eine bestimmte produzierte Einheit ausgetauscht wird (CONDON et al., 2004; BACON, 2004). In der Pflanzenphysiologie kann dies z.B. die Menge des ins Blatt aufgenommenen Kohlenstoffs bzw. CO_2 für die Photosynthese im Verhältnis zum dabei transpirierten Wasser sein (CONDON et al., 2004; JONES, 2004) oder das Verhältnis von Netto-Assimilation zum stomatären Widerstand, auch intrinsic water use efficiency (JONES, 2004). Für Agrarwissenschaftler ist Wassernutzungseffizienz der geerntete Korn-Ertrag

bzw. Biomasse im Verhältnis zum der Pflanze, aus Niederschlag, Bewässerung und/oder Speicherung im Boden, zur Verfügung stehenden Wasser (CONDON et al., 2004; BRUECK und SENBAYRAM, 2009; BRUECK, 2008; IZANLOO et al., 2008; GREGORY, 2004, MERCHUK und SARANGA, 2004) und damit der reziproke Wert des Transpirationskoeffizienten (JONES, 2004). Diese agronomische Wassernutzungseffizienz kann wiederum in drei Komponenten zerlegt werden: Aufnahmeeffizienz (Verhältnis des aufgenommenen Wassers zum Gesamtwasserangebot am Standort), (Evapo)transpirationseffizienz (E)TE (gebildete Biomasse pro Liter verbrauchten Wassers) und als Transformationseffizienz der Ernte-Index (Verhältnis von gebildetem Ertrag zur gebildeten Biomasse). Möglichkeiten der Beeinflussung ergeben sich bei allen drei Komponenten. So kann zum einen die Aufnahme-Effizienz über die Reduzierung unproduktiver Verdunstung von der Bodenoberfläche verbessert werden. Als Maßnahmen kommen dabei bezüglich des Managements eine flache Bodenbearbeitung oder das Belassen von Ernte-Rückständen der Vorfrucht als Mulch auf dem Feld in Betracht (HERZOG, 2003; PASSIOURA, 2004). Neben dem Mulchen können evaporative Wasserverluste von der Bodenoberfläche auch durch eine schnelle Bestandesentwicklung reduziert werden (PASSIOURA, 2004). Besonders in semiariden Gebieten mit Bodenstrukturproblemen kann eine gleichmäßig tiefe Saatgutablage besonders bei Direktsaat aufgrund des rauen Saatbettes nicht immer gewährleistet werden (PASSIOURA, 2004), sodass in der Folge der Feldaufgang und damit auch die Bestandesentwicklung unregelmäßig ist. Eine unregelmäßige Entwicklung des Bestandes zieht dann auch eine unregelmäßige Bodenbedeckung mit sich, sodass die Evaporation von der Bodenoberfläche nicht gleichmäßig reduziert wird. Von diesem Problem sind besonders Weizen betroffen, welche die Verzweigungsgene Rht1 oder Rht2 tragen. Sie sind damit durch kurze Kuleoptilen gekennzeichnet, was bei einer Saatgutablage unter 60 mm zu dem beschriebenen unregelmäßigem Feldaufgang führen kann (PASSIOURA, 2004). Die Nutzung eines anderen Verzweigungsgens, Rht8, in der Pflanzenzüchtung könnte hier Abhilfe schaffen (PASSIOURA, 2004). Eine verbesserte Aufnahmeeffizienz kann aber auch durch eine tiefere und intensivere Durchwurzelung erreicht werden, was besonders auf Standorten zum Erfolg führen kann, welche zum Vegetationsbeginn bis in tiefere Bodenschichten mit Wasser aufgesättigt sind, sodass kurzzeitig auftretende Wasserdefizite während oder zum Ende der Vegetationszeit überbrückt werden können (HERZOG, 2003). Das Wurzelwachstum kann dabei durch pflanzenbauliche Stimulierung als auch auf züchterischem Wege

realisiert werden (HERZOG, 2003). Bei der züchterischen Beeinflussung des Wurzelwachstums muss wiederum berücksichtigt werden, dass die heute in modernen Weizensorten enthaltenen Verzweigungsgene (dwarf genes), die im Laufe der Züchtung zu einer reduzierten Strohlänge und damit einem höherem Ertrag aufgrund eines höheren Ernte-Index geführt haben, auch einen reduzierten Wurzeltiefgang zur Folge hatten (BECKER, 2011).

Neben der Verbesserung der Aufnahmeeffizienz ist die Verbesserung der Komponente Transpirationseffizienz (Verhältnis von Biomasse zu transpiriertem Wasser) der Nutzpflanzen ein möglicher Ansatzpunkt zum Erreichen einer höheren Wassernutzungseffizienz (GREGORY, 2004). Die (Evapo)transpirationseffizienz wird bereits seit über hundert Jahren als Transpirationskoeffizient in Versuchen bestimmt (HERZOG, 2003; JONES, 2004) und ist größtenteils pflanzenartspezifisch (HERZOG, 2003), wobei der Transpirationskoeffizient bei C4-Pflanzen (z.B. Mais, Hirse) deutlich geringer ist als bei C3-Pflanzen (z.B. Weizen, Zuckerrüben) und sie somit auch eine höhere Wassernutzungseffizienz aufweisen (JONES, 2004). Die Untersuchung der (E)TE ist allerdings mit einem hohen experimentellen Aufwand verbunden und zudem abhängig vom Standort, sodass die auf die Sorte zurückzuführende Variabilität innerhalb bestimmter Nutzpflanzenarten bisher wenig untersucht wurde (HERZOG, 2003). Da in den meisten Untersuchungen, aufgrund der schwierigen Erfassbarkeit der Wurzelbiomasse (BECKER, 2011), zur Bestimmung der Transpirationseffizienz nur die oberirdische Biomasse berücksichtigt wird, wird die WNE zudem vermutlich oftmals unterschätzt (JONES, 2004).

Die Transformationseffizienz, also der Ernte-Index, als dritte Komponente der Wassernutzungseffizienz, wurde in der Vergangenheit bereits bei vielen Kulturarten im Laufe der Züchtung erhöht, ist wesentliches Merkmal von modernen Hochleistungssorten und, durch die Reduktion der Strohlänge aufgrund der Einkreuzung von Zwergwuchs-Genen, wesentlicher Faktor für die Ertragssteigerungen beim Getreide (HERZOG, 2003; BECKER, 2011). Eine Verbesserung dieses Merkmals dürfte also vor allem bei Kulturarten die bisher wenig züchterisch bearbeitet wurden (z.B. Kuhbohne) zum Erfolg führen (HERZOG, 2003), da die Möglichkeiten eine Ertragssteigerung über eine Erhöhung des Ernte-Index zu erreichen bei Weizen und Gerste weitgehend ausgeschöpft sind (BECKER, 2011).

Wassernutzungseffizienz (WNE) wird oftmals gleichgesetzt mit Dürre-Resistenz und einem verbesserten Ertrag unter Stress (BLUM, 2005). Genau das Gegenteil kann jedoch

ebenfalls der Fall sein: JONES (2004) gibt zu bedenken, dass eine hohe Wassernutzungseffizienz häufig mit einer geringeren Produktivität verbunden ist, während MERCHUK und SARANGA (2004) auf große Unterschiede in Untersuchungen zum Zusammenhang von WNE und pflanzlicher Produktivität hinweisen, da zwischen WNE und Ertrag mal eine negative, mal eine positive und teils auch keine Beziehung besteht.

Da die Untersuchung von Wassernutzung und Wassermangelempfindlichkeit von annuellen Kulturpflanzen unter Feldbedingungen schwierig ist und mit hohem technischen Aufwand verbunden, z.B. für geeignete Regenabschirmung bei gleichzeitiger ungehinderter Sonneneinstrahlung sowie Vorrichtungen zur Messung von Versickerung, Evapotranspiration (Lysimeter) und oberflächlichem Abfluss von Niederschlägen, wurde für die Bearbeitung des Themas ein kombinierter Ansatz aus Gefäß- und Feldversuchen gewählt. Die Gefäßversuche unter Freilandbedingungen mit Regenschutz boten dabei, gegenüber den Feldversuchen in zahlreichen anderen Untersuchungen (AL-THABET 2006, REYNOLDS et al. 2007, CAYCI et al. 2009, CONDON et al. 2002, GAO et al. 2009, MANDAL et al. 2005, MISRA et al. 2010), die Möglichkeit die Wassernutzung unter weitgehend kontrollierten Bedingungen zu untersuchen sowie einen Dürre-Stress zum gewählten Zeitpunkt zu induzieren und so die Wassermangelempfindlichkeit diverser Parameter zu analysieren. Die Feldversuche wurden wiederum durchgeführt, um zu untersuchen, ob sich die, unter den speziellen Bedingungen des Gefäßversuches (u. A. geringere Anzahl Pflanzen pro Flächeneinheit und damit geringere intraspezifische Konkurrenz als in einem Feldbestand), gefundenen Sortenrangfolgen auch unter Feldbedingungen wiederfinden und Ergebnisse aus den Gefäßversuchen somit übertragbar sind.

In den für die vorliegende Arbeit durchgeführten Gefäßversuchen wurden daher Biomasse und Korn-Ertrag, Parameter der Ertragsstruktur, Wassernutzung und N-Verwertung von zwei Sommerweizensorten mediterraner Herkunft (Golia und Gönen) und vier Sommerweizen mitteleuropäischer Herkunft (Taifun, Triso, Monsun, Naxos) untersucht, mit dem Ziel, mögliche Sorten- und Herkunftsunterschiede herauszuarbeiten sowie die Auswirkungen von Dürrestress in der generativen Phase auf die genannten Merkmale zu quantifizieren.

Folgende Hypothesen sollten dabei in den in drei Jahren (2009-2011) durchgeführten Gefäßversuche überprüft werden:

- Es existieren deutliche Sortenunterschiede zwischen den untersuchten Sommerweizen bezüglich Biomasse, Korn-Ertrag, Ertragsstruktur und N-Verwertung.
- WNE (Wassernutzungseffizienz), ETE (Evapotranspirationseffizienz) und Ernte-Index (EI) sind sortenspezifisch und zeigen enge Korrelationen.
- Sortenunterschiede zwischen den Sommerweizen können auf die Herkunft der Sorten zurückgeführt werden.
- Wasserdefizit nach dem Ährenschieben senkt Biomasse, Korn-Ertrag und N-Aufnahme sortenspezifisch.
- WNE und ETE zeigen Einflüsse von Interaktionen zwischen Sorte und Bewässerung.

Parallel zu den Gefäßversuchen wurden in zwei Feldversuchen (2010, 2011) ebenfalls Biomasse und Korn-Ertrag, Parameter der Ertragsstruktur, Wassernutzung und N-Verwertung der zwei mediterranen Sorten und einem Sortiment mitteleuropäischer Sommerweizensorten untersucht.

In den Feldversuchen sollten folgende Hypothesen überprüft werden:

- Es existieren deutliche Sortenunterschiede zwischen den untersuchten Sommerweizen bezüglich Biomasse, Korn-Ertrag, Ertragsstruktur und N-Verwertung sowie Interaktionen zwischen Sorte und Jahr.
- WNE (Wassernutzungseffizienz), ETE (Evapotranspirationseffizienz) und Ernte-Index (EI) sind sortenspezifisch, zeigen enge Korrelationen untereinander sowie Wechselwirkungen zwischen Sorte und Jahr.
- Sortenrangfolgen aus den Gefäßversuchen finden sich auch unter Feldbedingungen wieder.

2. Material und Methoden

2.1 Gefäßversuche

2.1.1 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden in drei aufeinander folgenden Jahren (2009, 2010, 2011) jeweils von März bis Juli auf dem Gelände der Lehr- und Forschungsstation der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät (LGF) der Humboldt-Universität zu Berlin in Berlin-Dahlem durchgeführt. Zur Abschirmung von Niederschlägen und Abwehr von Vögeln wurden die Gefäßexperimente in einem Drahthaus mit lichtdurchlässigem Plexiglas-Dach aufgebaut. Durch einen ca. 11 m langen Schuppen, der sich über die gesamte westliche Längsseite des Drahthauses erstreckt, wurde in höherem Maße auch eine Abschirmung von Wind erreicht.

Die Anlage der Versuche erfolgte als 2-faktorielle randomisierte Spaltanlage mit den Prüffaktoren Sorte und Bewässerung mit fünf (2009, 2010) bzw. sechs (2011) Wiederholungen. Der grundsätzliche Versuchsaufbau war dabei in allen drei Versuchsjahren gleich. Tab. 1 zeigt eine Skizze des Versuchsaufbaus, bei der aus Gründen der Übersichtlichkeit nur vier der fünf bzw. sechs Wiederholungen dargestellt sind. Die vollständigen Versuchspläne sind im Anhang zu finden (Abb. A1).

Tab. 1: Ausschnitt Versuchsplan Gefäßversuche 2009 - 2011

I				II				III				IV			
24	23	22	21	12	13	14	11	23	24	21	22	12	14	11	13
11	14	12	13	23	22	21	24	12	11	14	13	24	22	23	21

I-IV: Block (Wiederholung); Bewässerung: 1x=optimale Bewässerung, ww bzw. 2x=restriktive Bewässerung, wd;

Sorten: x1, x2, x3, x4 = Sorte 1, 2, 3, 4

Der Prüffaktor Bewässerung hatte in allen drei Jahren zwei Stufen, optimale (ww) und restriktive Bewässerung (wd), der Faktor Sorte vier Stufen, sodass sich jedes Jahr 8 Prüfglieder (Sorte x Bewässerung) ergaben. Die untersuchten Sorten variierten zwischen den Jahren, wobei Taifun und Golia dreijährig, Gönen und Triso zweijährig und Monsun bzw. Naxos jeweils in einem Jahr geprüft wurden (Tab. 2).

Tab. 2: Zuordnung der in den Gefäßversuchen untersuchten Sorten zu den einzelnen Versuchsjahren

Sorte	2009	2010	2011	Versuchsjahre
Taifun	✓	✓	✓	3
Golia	✓	✓	✓	3
Gönen	✓	n.u.	✓	2
Triso	n.u.	✓	✓	2
Monsun	✓	n.u.	n.u.	1
Naxos	n.u.	✓	n.u.	1

✓=Sorte in diesem Jahr untersucht, n.u. =nicht untersucht

2.1.2 Pflanzenmaterial

Die untersuchten Sommerweizensorten unterscheiden sich unter anderem in ihrer Herkunft. Taifun, Monsun, Triso und Naxos sind deutsche Sorten mitteleuropäischer Herkunft. Golia und Gönen stammen dagegen aus dem mediterranen Raum und werden in bedeutendem Umfang in der Türkei angebaut (EREKUL et al., 2009). Neben der Herkunft war die Qualität ein wichtiges Merkmal bei der Auswahl der Sorten. Taifun und Triso sind Elite-Weizen (E-Weizen), während es sich bei Monsun und Naxos um Aufmisch-Weizen (A-Weizen) handelt. Weitere Sorteneigenschaften sind in Tab. 3 dargestellt. Im Gegensatz zu den mitteleuropäischen Sorten gibt es für Golia und Gönen hinsichtlich der Qualität bisher keine Einstufung in ein Klassifizierungssystem. Golia stammt ursprünglich aus Italien (CORBELLINI et al., 2002) und wird nach ALTINTAŞ et al. 2008 seit 1989 angebaut. ILKER et al., 2011 und KORKMAZ et al. (2010) geben allerdings 1999 als Jahr der Registrierung an. Hervorgegangen ist Golia aus den italienischen Sorten Orso und Manital (CORBELLINI et al., 2002) und wird in der Literatur als sehr kurzstrohig beschrieben (BORGHI, PERENZIN 1994). Gönen ist seit 1998 im Anbau, hat ihren Ursprung in der Türkei beim Aegean Agricultural Research Institute in Izmir (ILKER et al., 2011) und gilt als hitzetolerante Sorte (YILDIZ und TERZI, 2008). Beide mediterranen Sorten haben im Gegensatz zu den mitteleuropäischen begrannte Ähren. Die Sorte Naxos wurde 2010 in die Untersuchungen aufgenommen, da sie laut Züchter über eine hohe Trockentoleranz verfügt. Es stellte sich jedoch heraus, dass Naxos unter den Witterungsbedingungen des Jahres 2010 (feuchtes, kühles Frühjahr) sehr anfällig für Mehltau war, der auch nach zweimaliger Behandlung nicht vollständig beseitigt werden konnte und auch auf die

anderen Sorten im Versuch übergriff. Naxos wurde deshalb 2011 nicht mehr untersucht und stattdessen die türkische Sorte Gönen wieder ins Experiment aufgenommen.

Die deutschen Sorten Taifun, Triso und Naxos wurden über die jeweiligen Züchter bezogen, bei Monsun wurde selbst nachgebautes Saatgut der Lehr- und Forschungsstation der LGF verwendet, da die Sorte nicht mehr über die KWS Lochow GmbH zu beziehen war. Das Saatgut für Golia und Gönen wurde von Prof. Dr. Osman Erekul von der Universität Aydin (Türkei) zur Verfügung gestellt.

Tab. 3: Sorteneigenschaften der Sommerweizensorten in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011 (nach Beschreibender Sortenliste des Bundesortenamtes (BSL) 2009 und 2010)

Merkmal	Taifun		Triso		Monsun		Naxos	
Sortentyp	L	Linie	L	Linie	L	Linie	L	Linie
Qualitätsgruppe	E	Eliteweizen	E	Eliteweizen	A	Aufmischweizen	A	Aufmischweizen
Ährenschieben	3	früh	5	mittel	4	früh bis mittel	k.A.	
Reife	4	früh bis mittel	5	mittel	5	mittel	k.A.	
Pflanzenlänge	3	kurz	5	mittel	3	kurz	k.A.	
Neigung zu Lager	6	mittel bis stark	4	gering bis mittel	5	mittel	k.A.	
Ertragseigenschaften:								
Bestandesdichte	5	mittel	7	hoch	4	niedrig bis mittel	k.A.	
Kornzahl pro Ähre	5	mittel	4	niedrig bis mittel	4	niedrig bis mittel	k.A.	
TKG	7	hoch	5	mittel	8	hoch bis sehr hoch	k.A.	
Kornertag Stufe 2	5	mittel	5	mittel	6	mittel bis hoch	k.A.	
Qualitätsmerkmale:								
Fallzahl	9	sehr hoch	7	hoch	9	sehr hoch	7	hoch
Rohprotein	8	hoch bis sehr hoch	9	sehr hoch	6	mittel bis hoch	7	hoch
Sedimentationswert	9	sehr hoch	9	sehr hoch	9	sehr hoch	9	sehr hoch
Volumenausbeute	8	hoch bis sehr hoch	9	sehr hoch	6	mittel bis hoch	6	mittel bis hoch
zugelassen seit	2003		1996		2002		1992	
Herkunft	D	Deutschland	D	Deutschland	D	Deutschland	D	Deutschland
Züchter		KWS Lochow GmbH		Deutsche Saatveredelung AG		KWS Lochow GmbH		Dr. Hermann Strube

Zahlen 1-9 geben Ausprägungsstufen nach Beschreibender Sortenliste des Bundessortenamtes an, k.A. =keine Angabe in der Beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes

2.1.3 Versuchsbedingungen

Die Weizenpflanzen wurden in dunkelgrauen zylindrischen PVC-Röhren angezogen, welche am unteren Ende mit einem mit Löchern versehenen Deckel verschlossen sind. Dies soll den freien Ablauf überschüssigen Wassers ermöglichen und Staunässe im unteren Gefäßbereich verhindern. Unter den Anzuchtgefäßen wurden Auffangschalen

für das ablaufende Wasser installiert. Bei einer Höhe von 50 cm und einem Durchmesser von 16 cm haben die Gefäße ein Fassungsvermögen von ca. 10 L.

Für die Anzucht der Pflanzen wurde Boden verwendet, welcher auf der Lehr- und Forschungsstation der LGF in Berlin-Dahlem entnommen wurde. Es handelt sich dabei um eine Braunerde-Fahlerde bzw. Albeluvisol nach World Reference Base for Soil Resources (WBR). Die Bodenart ist ein schwach schluffiger bis mittel lehmiger Sand aus Decksand über Grundmoränen-Geschiebemergel.

Der Boden konnte nach der Entnahme an der Luft abtrocknen und wurde gesiebt, um größere Steine und andere störende Bestandteile zu entfernen. Vor dem Einfüllen des abgetrockneten, gesiebten Bodens in die Gefäße, erfolgte eine Durchmischung des Bodens mit einem Betonmischer. Im Versuchsjahr 2009 wurde dabei auch die Grunddüngung mit 1,9 g Thomaskali 10+20+3 pro Gefäß eingemischt. Bei der 2009 im Mittel in den Versuchsgefäßen enthaltenen Bodenmenge von 14,04 kg lufttrockenem Boden entspricht dies einer Grunddüngung von 2,7 mg Kalium 100 g⁻¹ Boden und 1,35 mg Phosphor 100 g⁻¹ Boden. In den Jahren 2010 und 2011 wurde auf die Grunddüngung verzichtet, da die Gehalte an P und K auf den Flächen der Bodenentnahme bereits in Versorgungsklasse E (nach VDLUFA Standpunkt 1997 bzw. 1999) lagen.

Das Einfüllen des Bodens in die Versuchsgefäße erfolgte in zwei Schritten. Dabei wurden die Gefäße zunächst mit 7 kg luftgetrocknetem Boden gefüllt, worauf der Boden ein erstes Mal verdichtet wurde. Danach wurden weitere 6 kg Boden (bzw. 7 kg 2009) eingefüllt und es wurde nochmals verdichtet. Während der Befüllung wurde eine Mischprobe aus dem Bodenmaterial entnommen, um den gravimetrischen Wassergehalt des lufttrockenen Bodens mit Formel (1) in vierfacher Wiederholung zu bestimmen (Tab. 4).

$$\text{Wassergehalt [\% G/G]} = \frac{\text{FM}_{\text{Boden}} [\text{g}] - \text{TM}_{\text{Boden}} [\text{g}]}{\text{TM}_{\text{Boden}} [\text{g}]} * 100 \quad (1)$$

Der Aufbau der Gefäße im Drahthaus erfolgte in zwei Reihen in 50 cm Höhe, wobei die jeweils äußersten Gefäße einer Reihe als Randgefäße dienten, die nicht in die spätere statistische Auswertung einbezogen wurden. Alle Gefäße wurden so aufgestellt, dass sie sich im Windschattenbereich des an der Westseite des Drahthauses befindlichen Schuppens befanden. Nach dem Einfüllen und Verdichten des Bodens wurden die Gefäße bis zum Durchlauf mit Wasser aufgesättigt. Nach 48 h wurde der Durchlauf gemessen, notiert und entsorgt. Der Durchlauf wurde 2009 im Mittel nach 1400 mL,

2010 nach 1700 mL und 2011 nach 2500 mL Wasser erreicht (Tab. A2). Bis zur Aussaat wurden die Gefäße mit Plastiktüten abgedeckt um Evaporation von der Gefäßoberfläche zu verhindern.

Am Tag der Aussaat wurden die Versuchsgefäße gewogen, um den gravimetrischen und volumetrischen Wassergehalt des Bodens zu Versuchsbeginn in jedem Versuchsgefäß zu bestimmen. Von den Ergebnissen der Wägung wurde bei jedem Versuchsgefäß das vor Versuchsbeginn bestimmte Leergewicht des Gefäßes abgezogen, um die Frischmasse des Bodens (FM_{Boden}) zu erhalten. Zunächst wurde aus dem Wassergehalt des lufttrockenen Bodens (Tab. 4) die im lufttrockenen Boden enthaltene Wassermenge ($\text{Wassermenge}_{\text{lufttrockner Boden}}$) für jedes Versuchsgefäß errechnet. Diese wurde dann, zur Berechnung der Trockenmasse des Bodens (TM_{Boden}) in jedem Versuchsgefäß, von der Bodeneinwaage ($\text{Einwaage}_{\text{lufttrockner Boden}}$) abgezogen (Formel (2)) und der gravimetrische Wassergehalt des Bodens nach der Sättigung zu Versuchsbeginn für jedes Versuchsgefäß mit Formel (3) berechnet (Tab. 4).

$$TM_{\text{Boden}} = \text{Einwaage}_{\text{lufttrockner Boden}} - \text{Wassermenge}_{\text{lufttrockner Boden}} \quad (2)$$

$$\text{Wassergehalt Boden [\% G/G]} = \frac{FM_{\text{Boden}}[\text{kg}] - TM_{\text{Boden}}[\text{kg}]}{TM_{\text{Boden}}[\text{kg}]} * 100 \quad (3)$$

Durch Multiplikation des gravimetrischen Bodenwassergehaltes mit der Lagerungsdichte LD [kg L^{-1}] (Formel (4)) wurde dann der volumetrische Wassergehalt des Bodens zu Versuchsbeginn berechnet (Tab. 4).

$$\text{Wassergehalt Boden [\% V/V]} = \text{Wassergehalt Boden [\% G/G]} * LD [\text{kg L}^{-1}] \quad (4)$$

Tab. 4: Wassergehalt lufttrockener Boden, gravimetrischer [% G/G] und volumetrischer [% V/V] Wassergehalt des Bodens nach Sättigung zur Aussaat (A) und Lagerungsdichte (LD) in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Parameter	2009	2010	2011
Wassergehalt lufttrockener Boden [% G/G]	8,0	5,1	1,8
Wassergehalt Boden zur Aussaat [% G/G]	17,5	17,3	18,9
Lagerungsdichte (LD) [kg L^{-1}]	1,24	1,25	1,35
Wassergehalt Boden zur Aussaat [% V/V]	21,7	21,6	25,6

Die Aussaat erfolgte direkt ins Gefäß. Pro Gefäß wurden 12 Samen ausgelegt und leicht mit Erde bedeckt. Nach dem Auflaufen wurden die Weizenpflanzen auf 8 Pflanzen pro Gefäß vereinzelt. Zur Aussaat erfolgte auch die Installation der TDR-Sonden zur fortlaufenden Messung des volumetrischen Bodenwassergehaltes in 10 – 20 cm Bodentiefe während der gesamten Versuchsdauer. Die erste Messung fand zur Aussaat statt, wobei der Mittelwert aller gemessenen Gefäße zu diesem Zeitpunkt als Feldkapazität (FK) definiert und als Zielgröße für den volumetrischen Wassergehalt des Bodens in der optimal bewässerten Variante (ww) über den gesamten Versuchszeitraum sowie in der restriktiv bewässerten Variante (wd) bis zum Beginn und nach dem Ende der Phase der restriktiven Bewässerung genutzt wurde. Auch für die restriktiv bewässerte Variante während der Phase der restriktiven Bewässerung wurde in jedem Versuchsjahr, in Abhängigkeit von der Zielgröße der optimalen Variante, eine Zielgröße definiert (Tab. 5). Der Dürrestress war 2009 eher mild (65 % FK), 2010 und 2011 mit 50 % FK bzw. 43 % FK als starker Stress geplant.

Tab. 5: Zielgrößen für den Bodenwassergehalt [% V/V] bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung während der Phase der restriktiven Bewässerung und Dauer der Phase der restriktiven Bewässerung nach dem Ährenschieben in den Gefäßversuchen 2009-2011

Jahr	Zielgröße [% V/V]	Zielgröße [% V/V]	Dauer restriktive Bewässerung
	optimal (ww)	restriktiv (wd)	[d]
2009	20 ± 2	13 ± 2	31
2010	22 ± 2	11 ± 2	31
2011	28 ± 2	12 ± 2	21

Die Messung des Wassergehaltes des Bodens mittels TDR erfolgte an drei Tagen pro Woche (Montag, Mittwoch und Freitag) zwischen 8 und 10 Uhr morgens, vor der Bewässerung. Pro Bewässerungsvariante (ww, wd) wurden 2009 und 2010 bei Taifun und Golia drei Gefäße mit einer TDR-Sonde versehen. Bei den anderen Sorten hatten jeweils zwei Gefäße pro Bewässerungsvariante eine TDR-Sonde. 2011 standen mehr Sonden zur Verfügung, sodass bei allen Sorten in ww und wd drei Gefäße mit einer TDR-Sonde ausgestattet werden konnten. Pro Sonde und Gefäß wurden jeweils drei Werte aufgenommen, aus denen ein Mittelwert für das Gefäß gebildet wurde. Aus den Gefäßmittelwerten der drei bzw. zwei Gefäße wurde dann der Mittelwert des Bodenwassergehaltes für jedes Prüfglied (Sorten x Bewässerung) berechnet.

Die Bewässerung erfolgte per Hand und wurde an den Ergebnissen der Messung des volumetrischen Bodenwassergehaltes mittels TDR ausgerichtet. Bis zum Beginn der

restriktiven Bewässerung wurden alle Gefäße auf Feldkapazität (Sättigung bis zum Durchlauf) bewässert, wofür bei den einzelnen Sorten unterschiedliche Bewässerungsmengen nötig waren. Der Beginn der restriktiven Bewässerung erfolgte 2009 und 2010 zum Beginn des Ährenschiebens (BBCH 51), 2011 schon zu BBCH 47/49 (Blattscheide des Fahnenblattes öffnet sich/Grannenspitzen). Aus der unterschiedlichen Entwicklung der Sorten ergaben sich unterschiedliche Termine für Beginn (BRB) und Ende der restriktiven Bewässerung (ERB) (Tab. 6). Die Stressdauer war 2011 10 Tage kürzer als 2009 und 2010, innerhalb der Jahre war die Stress-Dauer aber für die jeweiligen Sorten gleich (Tab. 5). Die Termine BRB, ERB und Reife sind gleichzeitig Termine für Probenahmen (vgl. 2.1.4)

Tab. 6: Termine für Aussaat und Anzahl der Tage nach Aussaat (TNA) bis Beginn der restriktiven Bewässerung (BRB), Ende der restriktiven Bewässerung (ERB) und Reife in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

		Tage nach Aussaat (TNA)					
		Taifun	Golia	Gönen	Triso	Monsun	Naxos
2009	Aussaat	20.03.	20.03.	20.03.		20.03.	
	BRB	61	66	75		63	
	ERB	92	96	106	n.u.	94	n.u.
	Reife	119	122	129		122	
2010	Aussaat	26.03.	26.03.		26.03.		26.03.
	BRB	65	71		70		65
	ERB	95	101	n.u.	100	n.u.	95
	Reife	107	119		113		107
2011	Aussaat	24.03.	24.03.	24.03.	24.03.		
	BRB	57	63	69	60		
	ERB	78	84	90	82	n.u.	n.u.
	Reife	109	116	119	110		

n.u.=nicht untersucht

Während der Stress-Phase wurden die Gefäße der optimal bewässerten Variante (ww) weiterhin auf Feldkapazität bewässert, kontrolliert anhand des Durchlaufs. Die Gefäße der restriktiven Bewässerung (wd) wurden hingegen zu Beginn für mindestens 3 Tage nicht bewässert, um den Bodenwassergehalt auf die Zielgröße (Tab. 5) absinken zu lassen. Im weiteren Verlauf wurde die Bewässerung so ausgerichtet, dass die Zielgröße für den Wassergehalt des Bodens der restriktiv bewässerten Variante erreicht und

gehalten werden konnten. Die mittels TDR gemessenen volumetrischen Wassergehalte des Bodens der Bewässerungsvarianten in den drei Versuchsjahren während der Phase der restriktiven Bewässerung sind in Tab. 7 dargestellt.

Tab. 7: Mittlere Wassergehalte [% V/V] des Bodens bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung während der Phase der restriktiven Bewässerung bei den Sorten in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011 (Ergebnisse der TDR-Messungen)

Sorte	2009				2010				2011			
	Mittel ww	SF	Mittel wd	SF	Mittel ww	SF	Mittel wd	SF	Mittel ww	SF	Mittel wd	SF
Taifun	18,5	0,35	13,1	0,60	21,6	0,58	11,3	0,68	24,2	1,00	11,3	0,86
Golia	18,2	0,54	11,8	0,75	21,3	0,45	11,6	0,80	20,2	1,54	11,6	0,93
Gönen	17,7	0,44	11,5	0,63	n.u.				24,3	1,24	12,5	0,92
Triso	n.u.				20,2	0,68	11,6	0,82	21,8	1,52	12,5	1,10
Monsun	18,8	0,38	13,0	0,70	n.u.				n.u.			
Naxos	n.u.				21,2	0,69	11,1	0,77	n.u.			

Werte sind Mittelwerte von 2 bzw. 3 Gefäßen; ww=optimale Bewässerung; wd=restriktive Bewässerung;

SF=Standardfehler des Mittelwertes, n.u.=nicht untersucht

In allen drei Versuchsjahren wurde während der Phase der restriktiven Bewässerung im volumetrischen Wassergehalt des Bodens eine Differenz zwischen der optimal und restriktiv bewässerten Variante erreicht (Tab. 8). Im Sortenmittel war die Differenz mit 68 % FK im Sortenmittel der restriktiv bewässerten Variante 2009 am geringsten, 2010 und 2011 mit ~53% FK deutlich höher. Für 2009 kann also von einem milden Stress, 2010 und 2011 von einem starken Stress ausgegangen werden.

Tab. 8: Mittlere Differenz im Wassergehalt [% V/V] des Bodens zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung während der Phase der restriktiven Bewässerung bei den Sorten in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011 (basierend auf Ergebnissen der TDR-Messungen)

Sorte	2009		2010		2011	
	Mittel	SF	Mittel	SF	Mittel	SF
Taifun	5,4	0,64	10,2	0,69	12,9	0,86
Golia	6,4	0,85	9,7	0,86	8,6	0,99
Gönen	6,2	0,84	n.u.		11,8	0,92
Triso	n.u.		8,5	0,99	9,4	1,07
Monsun	5,8	0,84	n.u.		n.u.	
Naxos	n.u.		10,1	0,82	n.u.	

SF=Standardfehler des Mittelwertes, n.u.=nicht untersucht

Der Verlauf des volumetrischen Wassergehaltes bei den einzelnen Sorten und Bewässerungsvarianten (ww, wd) in den drei Versuchsjahren ist in Abb. A2 – A5 im

Anhang zu finden. Beispielhaft ist der Verlauf des volumetrischen Wassergehaltes des Bodens über die gesamte Versuchsdauer der Sorte Taifun im Versuchsjahr 2011 in Abb. 2 dargestellt. Um die Evaporation von der Gefäßoberfläche möglichst gering zu halten, wurden die Versuchsgefäße nach dem Auflaufen der Pflanzen mit 200g Quarzkies pro Gefäß abgedeckt. Die monatlichen Mittel der Temperatur in den Versuchsjahren 2010 und 2011 sind Tab. 11 (Kapitel 2.2.3.) zu entnehmen. Die Werte für 2009 befinden sich im Anhang (Tab. A1).

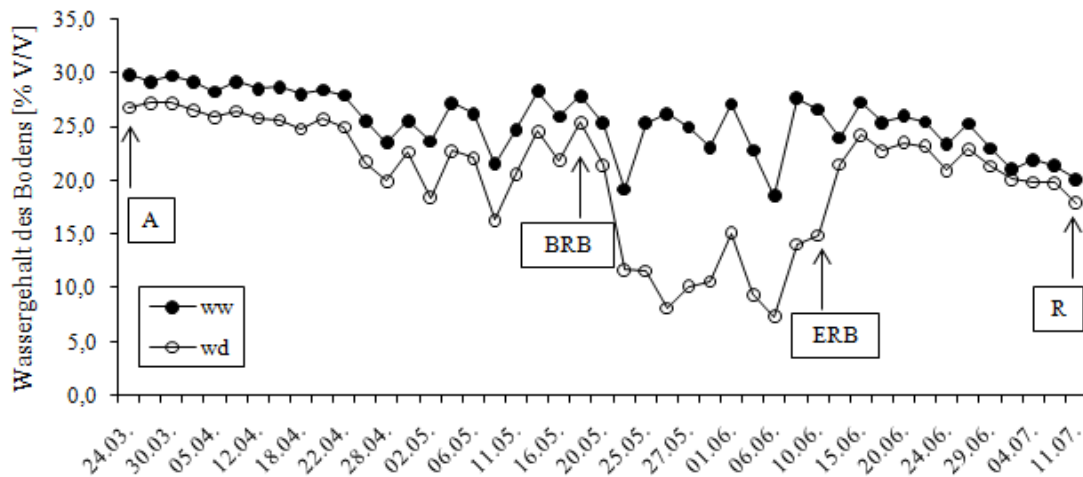


Abb. 2: Verlauf des Wassergehaltes des Bodens [%V/V] in den Versuchsgefäßen bei der Sorte Taifun von Aussaat (A) bis Ernte zur Reife (R) bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung im Gefäßversuch 2011

BRB=Beginn der restriktiven Bewässerung, ERB=Ende der restriktiven Bewässerung

Die Stickstoff-Versorgung der Pflanzen (Tab. 9) erfolgte mit in Wasser gelöstem Ammoniumnitrat verteilt auf drei Gaben zu den Zeitpunkten Auflaufen (BBCH 10/11), Übergang Bestockung zum Schossen (BBCH 23/30) und 2009 und 2010 zum Beginn Ährenschieben (BBCH 51) bzw. 2011 zum Öffnen der Blattscheide des Fahnenblattes/Grannenspitzen (BBCH 47/49). Der Termin der dritten N-Gabe stellt gleichzeitig den Beginn der restriktiven Bewässerung, also der letzten einheitlichen Bewässerung der zwei Bewässerungsvarianten (ww, wd) dar. Der frühere Termin der dritten N-Gabe 2011 hängt mit dem früheren Beginn der restriktiven Bewässerung in diesem Versuchsjahr zusammen. Die zweite N-Gabe zum Schossen wurde noch einmal unterteilt, sodass 90 mg N pro Gefäß am Übergang von der Bestockung zum Schossen (BBCH 23/30) appliziert wurden und weitere 45 mg N pro Gefäß 7 Tage später. In den Jahren 2009 und 2010 orientierte sich die Stickstoff-Düngung an der üblichen türkischen Praxis von 195 kg N ha⁻¹ und den Erfahrungen aus vorangegangenen

Versuchen (GRABE et al., 2008), welche über Pflanzenanzahl und Bodenoberfläche auf die Menge pro Gefäß kalkuliert wurde. GRABE et al., 2008 nutzten jedoch für ihre Versuche Mitscherlich-Gefäßen, bei denen die den Pflanzen zur Verfügung stehende Bodenmenge nur ca. 6,5 kg beträgt und damit nur rund die Hälfte der in den vorliegenden Versuchen verwendeten Bodenmenge. 2011 erfolgte die Berechnung der N-Düngung über die Zielgröße Rohproteingehalt im Korn zur Reife. Dabei wurde von einem zu erreichenden Rohproteingehalt im Korn von ca. 14 % (bzw. 2,5 % N) bei einem Korn-Ertrag von rund 5 g pro Pflanze ausgegangen. Bei einer durchschnittlichen Anzahl von 6 Pflanzen pro Gefäß, ergab sich eine Menge von 125 mg N pro Pflanze bzw. 750 mg pro Gefäß, die nötig wären, um die Zielgröße zu erreichen. Dabei sind allerdings weder im Stroh verbleibender Stickstoff, noch eine möglich Nachlieferung aus dem Boden berücksichtigt. Die N-Menge, welche 2011 gedüngt wurde lag also fast doppelt so hoch, wie in den Jahren 2009 und 2010.

Tab. 9: Stickstoff-Düngung in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Gabe	BBCH-Stadium		N-Menge pro Gefäß [mg]		
			2009	2010	2011
N1	Auflaufen	BBCH 10	180	180	300
N2	Übergang	BBCH 23/30	90 + 45	90 + 45	150 + 150
	Bestockung/Schossen				
N3	Öffnen Blattscheide/ Fahnenblatt bzw. Beginn Ährenschieben	BBCH 47/49 bzw. BBCH 51	120	120	150
	Summe		435	435	750

N1=1. N-Gabe, N2=2. N-Gabe, N3=3. N-Gabe

2.1.4 Untersuchte Parameter

Biomasse

Die pro Pflanze gebildete Biomasse wurde zu drei Terminen bestimmt, zum Beginn der restriktiven Bewässerung (BRB), zum Ende der restriktiven Bewässerung (ERB) und zur Ernte zur physiologischen Reife. Die Termine für die einzelnen Probenahmen sind Tab. 6 zu entnehmen. Zur ersten Probenahme BRB wurden dabei 2009 pro Wiederholung einer Sorte und Bewässerungsvariante 2 Pflanzen und 2010 bzw. 2011 jeweils eine Pflanze pro Gefäß geerntet. Zu ERB wurden in allen drei Versuchsjahren 2

Pflanzen pro Gefäß entnommen. Für die Ernte zur Reife blieben 2009 dann 3 und 2010 bzw. 2011 jeweils 4 Pflanzen pro Gefäß. Die Pflanzen wurden einzeln geerntet, in Papiertüten im Trockenschrank bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, um anschließend die Trockenmasse pro Pflanze zu bestimmen. 2009 und 2010 wurde bei den Einzelpflanzen zu den Probenahmen zum Beginn der Austrocknung und Stress-Ende nur die Gesamt-Trockenmasse bestimmt. Eine Unterteilung in Ähren bzw. Korn und Stroh fand erst zur letzten Probenahme zur Reife statt. 2011 erfolgte dann die Unterteilung in Ähren und vegetative Teile (Blätter und Halm) schon zur Probenahme zum Ende der restriktiven Bewässerung. Weiterhin zur Reife erfasste Parameter waren die Anzahl vollständig ausgebildeter druschreifer Ähren pro Pflanze, Pflanzenlänge, Ährenlänge und Sprosslänge des Haupttriebes.

Ertrag und Ertragsstruktur

Nach der Trocknung der zur Reife geernteten Ähren bei 60°C für mind. 24 h wurden diese für jede Pflanze einzeln gedroschen, um den Korn-Ertrag und die Anzahl Körner pro Pflanze zu bestimmen. Spindeln und Spelzen wurden nach dem Dreschen zum Stroh (Spross und Blätter) hinzugerechnet und gemeinsam analysiert.

Das Einzelkorngewicht (EKG) wurde aus der Relation von Korn-Ertrag pro Pflanze zur Anzahl Körner pro Pflanze ermittelt. Die Kornzahl pro Ähre wurde wiederum aus dem Verhältnis von Kornzahl pro Pflanze und Anzahl Ähren pro Pflanze berechnet. Der Ernte-Index (EI) wurde bestimmt, indem der Korn-Ertrag pro Pflanze zur gesamt pro Pflanze gebildeten Biomasse ins Verhältnis gesetzt wurde (Formel (5)).

$$EI = \frac{\text{Korn-Ertrag [g]}}{\text{Biomasse [g]}} \quad (5)$$

Wassernutzung

Als ein Parameter der Wassernutzung wurde der Wasserverbrauch (WV) der Sorten bestimmt. Für die Bestimmung des Wasserverbrauches im Intervall Aussaat (A) bis zum Beginn der restriktiven Bewässerung (BRB) wurde zu der pro Gefäß applizierten Bewässerungsmenge die Menge Wasser addiert, welche nötig war, um zu BRB wieder Feldkapazität (definiert als Erreichen des Durchlaufs) zu erreichen (Formel (6)). Dieser Wasserverbrauch pro Gefäß wurde dann durch die durchschnittlich vorhandenen 7 Pflanzen im Gefäß geteilt, um den Wasserverbrauch pro Pflanze in mL zu erhalten.

$$WV_{A-BRB} = \text{Bewässerung}_{A-BRB} + \text{Aufsättigung}_{BRB} \text{ [mL]} \quad (6)$$

Der Wasserverbrauch im Intervall von BRB bis zum Ende der restriktiven Bewässerung (ERB) ergibt sich aus der Summe der Bewässerungsmenge in diesem Intervall und der zur Wiederherstellung der Feldkapazität nötigen Wassermenge zur Aufsättigung zum Ende der restriktiven Bewässerung (Formel (7)). Der erhaltene Wasserverbrauch pro Gefäß wurde durch die in diesem Intervall im Gefäß vorhandenen 6 Pflanzen geteilt, um den Wasserverbrauch pro Pflanze zu berechnen.

$$WV_{BRB-ERB} = \text{Bewässerung}_{BRB-ERB} + \text{Aufsättigung}_{ERB} \text{ [mL]} \quad (7)$$

Um den Wasserverbrauch für das Intervall von ERB bis Ernte zur Reife zu bestimmen, wurde zunächst die Wassermenge im Boden zur Aussaat zum Versuchsbeginn (WM_A) ermittelt, welche die Summe ist aus der Wassermenge im lufttrockenen Boden pro Gefäß vor der Sättigung (vgl. S. 21) und der Aufsättigung auf Feldkapazität vor Versuchsbeginn ($\text{Aufsättigung}_{VVB}$) (Formel (8)).

$$WM_A = \text{Wassermenge}_{\text{lufttrockener Boden}} + \text{Aufsättigung}_{VVB} \quad (8)$$

Danach wurde berechnet, welche Menge Wasser zur Reife noch im Boden enthalten war (WM_E). Dafür wurde die zuvor bestimmte TM_{Boden} (Formel (2), Kapitel 2.1.3) von der zur Ernte zur Reife durch Wägung gemessenen $FM_{\text{Boden zur Ernte}}$ abgezogen (Formel (9)).

$$WM_E = FM_{\text{Boden zur Ernte}} - TM_{\text{Boden}} \text{ [kg]} \quad (9)$$

Die Differenz aus WM_A und WM_E wurde dann zur Bewässerungsmenge im Intervall ERB bis Ernte zur Reife ($\text{Bewässerung}_{ERB-E}$) hinzu addiert, um den Wasserverbrauch zu erhalten. In diesem Intervall waren noch 4 Pflanzen im Gefäß (Formel (10)).

$$WV_{ERB-E} = \text{Bewässerung}_{ERB-E} + (WM_A - WM_E) \quad (10)$$

Für die Berechnung des gesamten Wasserverbrauchs (WV_{gesamt}) während des Versuches pro Pflanze wurden die Wasserverbräuche in den Intervallen addiert (Formel (11)).

$$WV_{\text{gesamt}} = WV_{A-BRB} + WV_{BRB-ERB} + WV_{ERB-E} \quad (11)$$

Die Evapotranspirationseffizienz (ETE), als Parameter der Wassernutzung, wurde aus dem Verhältnis von gebildeter Biomasse zum aufgenommenen Wasser (Wasserverbrauch) errechnet (Formel (12)). Die ETE ist eine Komponente der Wassernutzungseffizienz (WNE) und ein Maß für die Effizienz der Pflanze bei der Bildung von Biomasse.

$$ETE = \frac{\text{Biomasse}}{W_{\text{Auf}}} \quad [\text{g L}^{-1}] \quad (12)$$

Demgegenüber bezieht die Wassernutzungseffizienz (WNE) in ihrer Berechnung neben dem schon erwähnten Ernte-Index (EI) auch das den Pflanzen über die gesamte Versuchsdauer im Gefäß zur Verfügung stehende Wasser mit ein (Formel (13)).

$$WNE = \frac{W_{\text{Auf}}}{W_{\text{Gesamt}}} * \frac{\text{Biomasse}}{W_{\text{Auf}}} * EI \quad [\text{g L}^{-1}] \quad (13)$$

Das Verhältnis von aufgenommenem Wasser (W_{Auf}) zum gesamt zur Verfügung stehenden Wasser (W_{Gesamt}) wurde für die genutzte Versuchsanstellung mit 1 angenommen, da durch die Quarzkies-Auflage Evaporation von der Bodenoberfläche unterbunden werden sollte und theoretisch alles angebotene Wasser auch aufgenommen werden konnte. So berechnete sich die WNE bei der vorliegenden Versuchsanstellung aus der Multiplikation von ETE und Ernte-Index (EI) (Formel (14)).

$$WNE = ETE * EI \quad [\text{g L}^{-1}] \quad (14)$$

Bestimmung von Stickstoffgehalt und Rohprotein

Zur Aufbereitung der Proben für die Bestimmung von Rohprotein- bzw. Stickstoffgehalt in Korn und Stroh wurden die getrockneten Proben mit einer Mikroschlagmühle der Culatti AG, Zürich gemahlen. Die Proben der ersten beiden Probenahmen (Beginn der restriktiven Bewässerung; Stressende) wurden dabei auf 1,5 mm vermahlen, da es sich um Ganzpflanzen handelte. Auch die Strohfraktion der Proben zur Reife wurde auf 1,5 mm Siebdurchgang vermahlen. Das Vermahlen der Körner erfolgte mit einem 1 mm-Sieb. Das erhaltene Mehl ist ein Vollkornschrot.

Die Ermittlung des Gesamt-Stickstoffgehaltes von Korn und Stroh erfolgte nach dem Prinzip von Kjeldahl mit Büchi im Labor der Versuchsstation in Berlin-Dahlem. Zum

Aufschluss der Proben wurde das Büchi-Aufschlussgerät 430-Digestor (Büchi, Schweiz) verwendet. Die Destillation erfolgte im Büchi-Destillier 322. Vor der Analyse wurden die gemahlenen Proben nochmals bei 55°C im Trockenschrank getrocknet. Die Berechnung der N-Menge (mg N g⁻¹) in der Probe erfolgte nach Formel (15).

$$\text{mg N g}^{-1} = \frac{(\text{Analysewert} - \text{Blindwert}) * \text{N-Faktor der Salzsäure}}{\text{Einwaage}} \quad (15)$$

Der ermittelte Blindwert für die durchgeführten Analysen lag bei 0,135 und der Stickstoff-Faktor (N-Faktor) der Salzsäure betrug 1,4. Aus der N-Menge (mg N g⁻¹) wurde dann durch Multiplikation mit dem Faktor 6,25 (Ganzpflanze bzw. Stroh) bzw. 5,7 (für Weizenmehl) die Rohproteinmenge in mg g⁻¹ ermittelt.

Stress-Index und Stress-Susceptibility-Index

Um die Empfindlichkeit von Biomasse- und Ertragsbildung der einzelnen untersuchten Sorten gegenüber Wasserdefizit nach dem Ährenschieben zu beschreiben, wurden der Stress-Index (SI) und der Stress-Susceptibility-Index (SSI) nach FISHER und MAURER (1978) berechnet. Der SI gibt die mittlere Reduktion der TM oder des Korn-Ertrages durch einen Stress in einem Experiment an und ist somit ein Maß für die Stress-Intensität (Formel (16)).

$$\text{SI} = \frac{(\bar{x}_{\text{ww}} - \bar{x}_{\text{wd}})}{\bar{x}_{\text{ww}}} \quad (16)$$

Der SSI (Formel (17)) hingegen erlaubt Aussagen über die Empfindlichkeit einzelner Sorten gegenüber dem Stress, da er die relative Reduktion von TM oder Korn-Ertrag einer einzelnen Sorte ins Verhältnis setzt zur mittleren Reaktion aller untersuchten Sorten. Werte um 1 geben dabei an, dass sich die Sorte bezüglich ihrer Empfindlichkeit wie der Durchschnitt der untersuchten Sorten. Werte unter bzw. über 1 deuten auf eine unterdurchschnittliche bzw. überdurchschnittliche Empfindlichkeit gegenüber dem untersuchten Stress-Faktor hin.

$$\text{SSI} = \frac{(x_{\text{iww}} - x_{\text{iwd}}) / x_{\text{iww}}}{(\bar{x}_{\text{ww}} - \bar{x}_{\text{wd}}) / \bar{x}_{\text{ww}}} \quad (17)$$

2.2 Feldversuche

2.2.1 Versuchsaufbau

In zwei aufeinander folgenden Jahren (2010 und 2011) wurden jeweils von März bis Juli Freilandversuche auf dem Gelände der Lehr- und Forschungsstation der LGF der Humboldt-Universität zu Berlin in Berlin-Dahlem (Breite: 52° 28'N; Länge: 13° 18'E; Höhe: 51m ü. NN) durchgeführt. Die zwei Feldversuche wurden als 1-faktorielle randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen angelegt. Der Prüffaktor Sorte hatte neun Stufen, die in beiden Jahren gleich waren, womit sich insgesamt 36 Parzellen ergaben. Der Ausschnitt aus dem Versuchsplan zeigt, dass die Blöcke nebeneinander in der Fläche lagen (Abb. 3). Die detaillierten Pläne für 2010 und 2011 sind im Anhang (Abb. A6 und A7) zu finden. Die Pläne unterschieden sich nur in der Anzahl und Lage der Randstreifen, bedingt durch Größe und Lage der zur Verfügung stehenden Fläche.

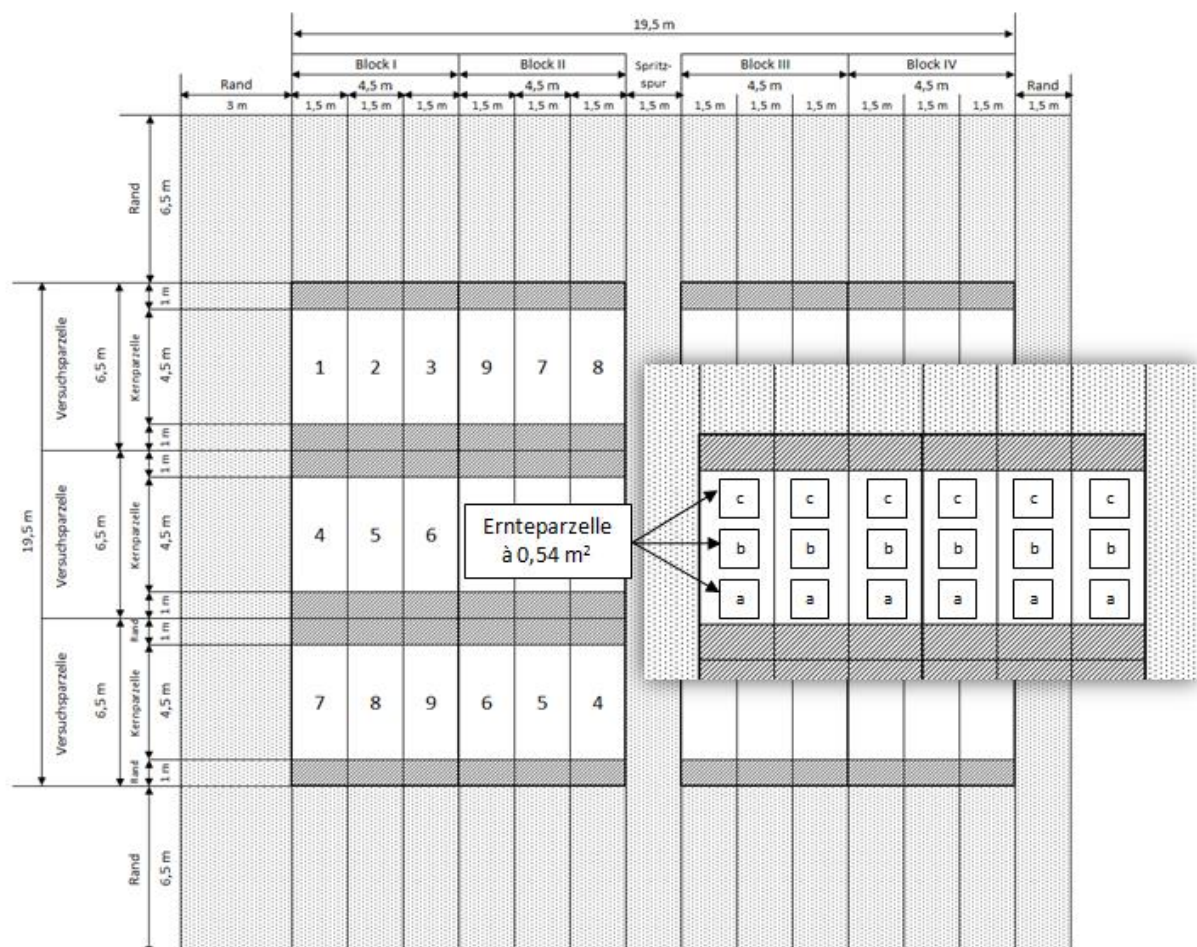


Abb. 3: Ausschnitt aus dem Versuchsplan 2011

1-9 Sorten; a=Ernte-Parzelle Reife, b=Ernte-Parzelle Reife mit Zusatzdüngung zur Blüte, c=Ernte-Parzelle Blüte

Zwischen Block II und III befand sich ein Randstreifen, um den Pflanzenschutz mit der vorhandenen Technik durchführen zu können.

Die Versuchsparzellen hatten eine Länge von 6,50 m bei einer Breite von 1,50 m, welche aus der Arbeitsbreite der zur Verfügung stehenden Versuchstechnik resultierte. Für den gesamten Versuch ergab sich demnach eine Versuchsfläche von 351 m². Am oberen und unteren Ende einer Parzelle befand sich jeweils ein 1 m breiter Übergangsbereich zwischen den Sorten bzw. zur Randparzelle. Die Kernparzellen hatten eine Größe von 4,50 m x 1,50 m (6,75 m²). Innerhalb dieser Fläche wurden drei Ernte-Parzellen (a, b, c) von je 1 m Länge markiert, die nur die innersten vier von insgesamt 10 Reihen pro Parzelle umfassten. Dies ergab für die Ernte-Parzellen eine Größe von 0,54 m². Die drei äußeren Reihen auf jeder Parzellenseite wurden nicht in die Auswertung einbezogen, da durch die 15 cm breite Fahrspur Randeffekte nicht auszuschließen waren. Die Ernte-Parzellen lagen innerhalb der Kernparzelle nicht direkt aneinander, sondern waren durch einen schmalen Rand voneinander und vom 1 m breiten Übergangsbereich der Sorten getrennt. Eine Ernte-Parzelle wurde für die Probenahme zur Blüte verwendet (Ernte-Parzelle (c)), die zwei anderen ((a) und (b)) wurden zur Reife geerntet. Auf Ernte-Parzelle (a) wurde nach dem Auflaufen die Anzahl Pflanzen gezählt, um später die verschiedenen Parameter der Ertragsstruktur berechnen zu können. Während auf Ernte-Parzelle (a) zur Blüte 10 L Wasser zwischen die Reihen ausgebracht wurden, erfolgte auf Ernte-Parzelle (b) dagegen eine Flüssig-Düngung mit 20 kg N ha⁻¹ als Harnstoff gelöst in 10 L Wasser auf den Boden zwischen die Reihen.

Nach der dritten N-Gabe wurde die Versuchsfläche mit einem Netz umgeben, welches Vögel abwehren und gleichzeitig ein Betreten der Versuchsfläche für Bonituren, die Messung des Bodenwassergehaltes und die Ernte zur Reife ermöglichen sollte.

2.2.2 Pflanzenmaterial

Fünf Sorten (Taifun, Monsun, Golia, Gönen, Triso) wurden bereits zuvor in Gefäßversuchen am Standort Dahlem untersucht und sollten nun auch im Feld geprüft werden. Ihre Sorteneigenschaften sind in Kapitel 2.1.2 und Tab. 3 beschrieben.

Die weiteren vier Sorten im Versuch (Tab. 10) wurden aus dem Sortiment deutscher Sommerweizensorten, anhand von Qualitätsgruppe, Tausendkorngewicht (TKG), Bestandesdichte und Pflanzenlänge ausgewählt. Dabei wurde versucht, zusammen mit den fünf Sorten aus den Gefäßversuchen, ein möglichst vielfältiges Sortiment mit

unterschiedlichen Ausprägungen der genannten Eigenschaften zu erhalten. Hybridweizensorten finden sich nicht unter den 22 Sommerweizensorten, die in der Beschreibenden Liste des Bundessortenamtes gelistet sind. Das Saatgut für die Sorten Taifun, Melissos, Piccolo, Thasos, Triso und Tybalt wurden sowohl 2010 als auch 2011 über die jeweiligen Züchter bezogen. Beim Saatgut von Monsun handelte es sich 2010 um Nachbau der Versuchsstation Dahlem, da diese Sorte nicht mehr im Vertrieb war. Golia und Gönen wurden von Prof. Dr. Osman Ereku von der Universität Aydin (Türkei) zur Verfügung gestellt. 2011 wurde bei Monsun, Golia und Gönen selbstproduzierter Nachbau aus den Rändern des Versuches von 2010 verwendet.

Tab. 10: Sorteneigenschaften der Sommerweizensorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 (nach Beschreibender Sortenliste des Bundessortenamtes (BSL))

Merkmal	Melissos		Piccolo		Thasos		Tybalt	
Sortentyp	L	Linie	L	Linie	L	Linie	L	Linie
Qualitätsgruppe	A	Aufmischweizen	A	Aufmischweizen	E	Elite-Weizen	A	Aufmischweizen
Ährenschieben	5	mittel	5	mittel	5	mittel	6	mittel bis spät
Reife	5	mittel	5	mittel	5	mittel	6	mittel bis spät
Pflanzenlänge	5	mittel	3	kurz	6	mittel bis lang	2	sehr kurz bis kurz
Neigung zu Lager	5	mittel	6	mittel bis stark	6	mittel bis stark	4	gering bis mittel
Ertragseigenschaften:								
Bestandesdichte	6	mittel bis hoch	6	mittel bis hoch	5	mittel	5	mittel
Kornzahl pro Ähre	5	mittel	5	mittel	5	mittel	5	mittel
TKG	5	mittel	5	mittel	4	niedrig bis mittel	8	hoch bis sehr hoch
Kornertrag Stufe 2	5	mittel	6	mittel bis hoch	4	niedrig bis mittel	7	hoch
Qualitätsmerkmale:								
Fallzahl	7	hoch	8	hoch bis sehr hoch	7	hoch	8	hoch bis sehr hoch
Rohprotein	5	mittel	7	hoch	8	hoch bis sehr hoch	6	mittel bis hoch
Sedimentationswert	8	hoch bis sehr hoch	9	sehr hoch	9	sehr hoch	7	hoch
Volumenausbeute	6	mittel bis hoch	7	hoch	8	hoch bis sehr hoch	6	mittel bis hoch
zugelassen seit	2003		2003		1994		2002	
Herkunft	D	Deutschland	D	Deutschland	D	Deutschland	D	Deutschland
Züchter		Dr. Hermann Strube		Dr. J. Ackermann & Co. Saatzucht Irlbach (KG)		Dr. Hermann Strube		W. von Borries-Eckendorf GmbH & Co. KG

Daten für Piccolo nach BSL 2009; für Melissos, Thasos, Tybalt nach BSL 2010

2.2.3 Versuchsbedingungen am Standort Dahlem

Standorteigenschaften

Der Standort Berlin-Dahlem der Lehr- und Forschungsstation der LGF der Humboldt-Universität zu Berlin befindet sich im südwestlichen Stadtgebiet von Berlin auf dem nördlichen Rand des Teltow, einer Grundmoränenplatte innerhalb der Jungmoränenlandschaften des Norddeutschen Tieflands südlich des Berliner Urstromtales auf 51 m über NN (SCHWEITZER, 2008; LGF, 2013a). Der vorherrschende Bodentyp am Standort Dahlem ist eine Braunerde-Fahlerde bzw. Albeluvisol (nach World Reference Base for Soil Resources (WBR)) und die Bodenart im Oberboden ist als schwach schluffiger bis mittel lehmiger Sand zu charakterisieren, während sich im Unterboden schluffig-lehmiger Sand bis sandig-toniger Lehm findet (LGF, 2013a; LGF, 2013b). In der oberen Bodenschicht von 0 bis 30 cm ergibt sich bei der Korngrößenverteilung ein Sand-Anteil von 72,1%, der Anteil von Schluff liegt bei 25,0 % und der von Ton bei 2,9 % (LGF, 2013a).

Witterung

Die Versuchsstation Berlin-Dahlem liegt im Übergangsbereich zwischen dem stärker maritim beeinflussten norddeutschen Flachland und dem kontinentalen osteuropäischen Festland (LGF, 2013c). Die effektive Klimaklassifikation nach KÖPPEN ist Cfb (Klimazone C: warmgemäßigte Klimate; Klimatyp f: immerfeucht, keine Trockenzeit; Klimauntertyp b: warmer Sommer, Monatsmittel der Lufttemperatur in mindestens 4 Monaten $\geq +10\text{ °C}$) (LGF, 2013c; PEEL et al., 2007; KOTTEK et al., 2006). Das jährliche Mittel der Lufttemperatur am Standort Berlin-Dahlem liegt im langjährigen Mittel (Bezugszeitraum 1981–2010) bei 9,9 °C, die Jahressumme der Niederschläge bei 562 mm. Alle Klimadaten zum Standort Dahlem wurden von der Professur Agrarklimatologie, Fachgebiet Acker- und Pflanzenbau der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin zur Verfügung gestellt.

Die mittlere Temperatur während der Versuchsdauer lag in beiden Versuchsjahren bei 15,6 °C. Während die Niederschlagssumme im Mittel der Sorten (unterschiedliche Erntezeitpunkte aufgrund unterschiedlicher Abreife) 2010 im Mittel bei 150 mm lag, war sie 2011 mit 215 mm deutlich höher.

Der Vergleich der monatlichen Mittel der Lufttemperatur und der Monatssumme der Niederschlagssummen mit den langjährigen Mittelwerten am Standort Dahlem (Tab. 11) zeigt für das Versuchsjahr 2010 bezüglich Temperatur und Niederschlag einen

durchschnittlichen März und einen etwas zu warmen und zu trockenen April gefolgt von einem unterdurchschnittlich kühlen und niederschlagsreichen Mai. Der Juni und Juli 2010 waren überdurchschnittlich warm und der Juni 2010 zudem fast ohne Niederschlag, während im Juli 2010 die Niederschlagssumme nur leicht unter dem langjährigen Mittel lag. Der März 2011 lag hinsichtlich der Temperatur im langjährigen Mittel, war aber deutlich zu trocken. Der April, Mai und Juni 2011 zeigten sich überdurchschnittlich warm. Während der April noch eine Niederschlagssumme im langjährigen Mittel aufwies, waren Mai und Juni 2011 unterdurchschnittlich trocken. In beiden Monaten fiel jeweils nur rund die Hälfte des im langjährigen Mittel üblichen Niederschlages. Der anschließende Juli war deutlich kühler als im langjährigen Mittel und geprägt von einer überdurchschnittlich hohen Niederschlagssumme.

Tab. 11: monatliche Mittel der Lufttemperatur (T_{mit}) und Monatssumme der Niederschlagshöhen (NS) in den Feldversuchen 2010 und 2011 sowie langjährige Mittel am Standort Dahlem (Bezugszeitraum 1971-2000 bzw. 1981-2010)

	2010		Mittel 1971-2000		2011		Mittel 1981-2010	
	T_{mit} [°C]	NS [mm]	T_{mit} [°C]	NS [mm]	T_{mit} [°C]	NS [mm]	T_{mit} [°C]	NS [mm]
März	5,3 [~]	36 [~]	4,9	37,2	5,1 [~]	14 [~]	5,0	40,5
April	10,1 ⁺	10 [~]	9,0	34,0	13,1 ⁺⁺	29	9,8	31,3
Mai	11,9 [~]	91 ⁺⁺	14,3	50,6	15,4 ⁺	26 [~]	14,7	55,9
Juni	19,0 ⁺⁺	2 ⁻⁻⁻	16,9	66,0	19,1 ⁺⁺	36 [~]	17,3	58,4
Juli	23,5 ⁺⁺⁺	46 [~]	18,9	53,1	17,8 [~]	196 ⁺⁺⁺	19,6	61,9

~ Werte liegen im langjährigen Mittel; +, ++, +++ Werte liegen über langjährigem Mittel; -, --, --- Werte liegen unter dem langjährigen Mittel

Im Vergleich der zwei Versuchsjahre traten Wasserdefizite zu unterschiedlichen Zeiten auf und trafen damit den untersuchten Sommerweizen in unterschiedlichen Phasen seiner Entwicklung. Während 2010 eher die Kornfüllungsphase von Wassermangel getroffen wurde, trat das Wasserdefizit 2011 schon in den frühen Entwicklungsphasen wie Bestockung und Ährenentwicklung auf. Dies ist ein Hinweis darauf, dass in beiden Versuchsjahren vermutlich unterschiedliche Parameter der Ertragsstruktur beeinflusst wurden.

2.2.4 Bodenwasser

Die Messung des Bodenwassergehaltes erfolgte in den beiden Feldversuchen auf zwei Wegen. Zum einen wurden zur Aussaat und zur Ernte zur Reifemithilfe eines mobilen Feldpenetrometers Bodenproben zur gravimetrischen Bestimmung des Wassergehaltes aus drei verschiedenen Bodenschichten entnommen: 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm (Tab. 12). entnommen. Für die Probenahme zur Aussaat wurden die Bodenproben gleichmäßig über die Versuchsfläche verteilt an 12 Punkten (pro Block 3 Punkte) entnommen, sodass sich 36 Proben ergaben (3 Punkte x 4 Blöcke x 3 Schichten). Bei der Probenahme nach der Ernte zur Reife wurden aus jeder Ernte-Parzelle (a) Bodenproben entnommen, insgesamt 108 Proben (9 Sorten x 4 Blöcke x 3 Schichten). Diese Probenahme zur Ernte erfolgte aus technischen Gründen erst am Tag der Ernte der letzten Sorte, da aufgrund unterschiedlich schneller Abreife der Sorten der damit verbundenen unterschiedlichen Ernte-Zeitpunkte die Versuchsfläche erst dann wieder mit dem mobilen Feldpenetrometer zur Entnahme der Bodenproben befahren werden konnte. 2010 wurden zusätzlich noch per Hand Bodenproben zur Blüte entnommen, was 2011 aufgrund der trockenen Witterung nicht möglich war.

Tab. 12: Bodenwassergehalte [% G/G] in verschiedenen Bodenschichten zur Aussaat, Blüte und Ernte zur Reife in den Feldversuchen 2010 und 2011

		Bodenwassergehalt [% G/G]			
	Schicht	2010	SF	2011	SF
Aussaat	0-30 cm	16,0	0,37	15,2	0,43
	30-60 cm	11,4	0,55	11,9	0,32
	60-90 cm	12,4	0,46	13,3	0,52
	90-120 cm	14,0	0,48	n.u.	
Blüte	0-30 cm	4,7	0,27	n.u.	
	30-60 cm	4,7	0,50	n.u.	
	60-90 cm	7,8	0,45	n.u.	
	90-120 cm	n.u.		n.u.	
Reife	0-30 cm	8,7	0,09	14,7	0,10
	30-60 cm	2,9	0,30	12,0	0,11
	60-90 cm	5,2	0,36	13,2	0,26
	90-120 cm	n.u.		n.u.	

Werte zur Aussaat gemittelt über 12 Probenahme-Punkte, Werte zur Blüte und Reife gemittelt über 36 Parzellen,
n.u.=nicht untersucht, SF=Standardfehler des Mittelwertes

Der Bodenwassergehalt während des Versuches wurde mittels FDR (frequency domain reflectometry) mit einer PR2-Profilsonde (Delta-T Devices Ltd, Cambridge) gemessen. Dazu wurden nach dem Auflaufen der Weizenpflanzen Fiberglas-Röhren permanent für die Versuchsdauer im Boden in den Ernte-Parzellen installiert. 2010 wurde in jeder Parzelle der ersten drei Blöcken jeweils eine Röhre installiert (insgesamt 27 Messpunkte, 3 Wiederholungen pro Sorte), während 2011 in allen vier Wiederholungen Messpunkte zur Verfügung standen (36 Messpunkte, 4 Wiederholungen pro Sorte). Die sehr trockene Witterung Ende April 2011 führte aufgrund des infolgedessen ebenfalls sehr harten Bodens zu Schwierigkeiten beim Einbau der Fiberglas-Röhren. Ein kompletter Bodenschluss im oberen Bereich der Rohre und somit genaue Mess-Ergebnisse konnten nicht bei allen installierten Röhren gewährleistet werden.

Die Messungen erfolgten nach Möglichkeit in einem Intervall von 2 Wochen. Häufigere Messungen waren nicht zu realisieren, da die Profilsonde auch an anderen Standorten genutzt wurde. Zu jedem Mess-Termin wurden an jedem Messpunkt 3 parallele Messungen durchgeführt, wobei die Profil-Sonde jeweils um 120 ° gedreht wurde. Aus den drei parallelen Messwerten wurde dann ein Mittelwert für die Ernte-Parzelle gebildet. Große Schwankungen im Bodenwassergehalt traten im Versuchszeitraum 2010 nur in einer Bodentiefe von 10 cm auf (Abb. 4), während in den Bodentiefen 20 cm, 30 cm, 40 cm und 60 cm der Bodenwassergehalt erst mit der anhaltenden Trockenperiode von Juni bis Mitte Juli absinkt.

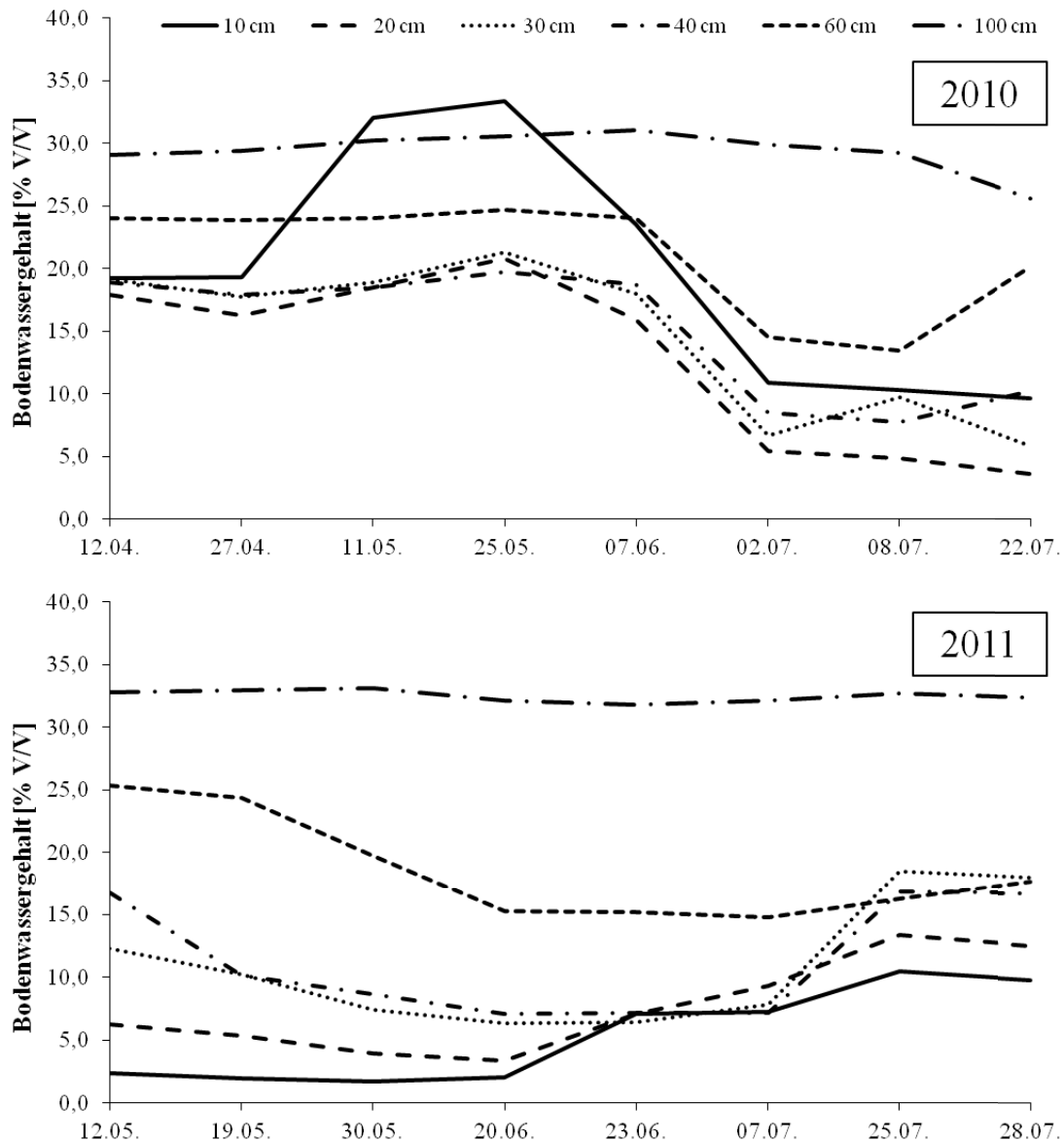


Abb. 4: volumetrischer Bodenwassergehalt [% V/V] in den Feldversuchen 2010 und 2011 in verschiedenen Bodentiefen

Werte gemittelt über alle Parzellen, n=27 (2010) bzw. n=36 (2011)

Der Bodenwasserhalt in 1 m Tiefe wird durch diese Phase mit geringen Niederschlägen kaum beeinflusst. Auch 2011 zeigt sich wieder der über die Versuchsdauer stabile Bodenwassergehalt in 1 m Tiefe. Im Gegensatz zu 2010 liegen die Wassergehalte 2011 bei der ersten Messung in den Tiefen 10 cm, 20 cm, 30 cm und 40 cm nicht alle nahe 20 [% V/V], sondern bei unter 5 [% V/V] (10 cm), ca. 6 [% V/V] (20 cm), ca. 12 [% V/V] bei 30 cm und ca. 16 [% V/V] bei 40 cm Bodentiefe und damit schon in der frühen Entwicklungsphase des Sommerweizens deutlich niedriger als 2010. Ursache dafür sind die unterdurchschnittlichen Niederschläge im März und Mai 2011. In einer Tiefe von 60 cm zeigt sich zu Beginn noch ein ähnlicher Wassergehalt wie 2010 um

25 [% V/V], der aufgrund des trockenen Frühjahrs 2011 jedoch rasch auf um 15 [% V/V] absinkt und erst durch die überdurchschnittlichen Juli-Niederschläge wieder leicht ansteigt. Die anhaltenden Niederschläge ab Juli sorgen auch in den Tiefen 10 cm, 20 cm und insbesondere in 30 bzw. 40 cm Bodentiefe wieder für ansteigende Bodenwassergehalte.

2.2.5 Düngung

Die Stickstoff-Düngung im Versuch erfolgte in beiden Jahren geteilt auf drei Gaben. Die erste Gabe mit 90 kg N ha⁻¹ erfolgte mit Ammonsulfatsalpeter (ASS) und wurde vor der Aussaat eingearbeitet. Die zweite Gabe zum Schossen (30 kg N ha⁻¹) erfolgte ebenfalls mit ASS und wurde per Hand auf die Parzellen ausgebracht. Die dritte Gabe zum Ährenschieben erfolgte flüssig mit Harnstoff-Lösung (20 kg N ha⁻¹) als Blattdüngung und wurde mithilfe einer fahrbaren Pflanzenschutzspritze ausgebracht. Somit gab es für diese Düngung nur einen Termin, obwohl die sich die einzelnen Sorten im Versuch, begründet durch ihre unterschiedliche Entwicklung, in unterschiedlichen BBCH-Stadien befanden. So waren einige Sorten schon über das Ährenschieben hinaus, während andere es noch nicht ganz erreicht hatten. Tab. 13 gibt einen Überblick, in welchem BBCH-Stadium sich die jeweiligen Sorten zum Termin (10.06.2010 bzw. 31.05.2011) der dritten N-Gabe befanden.

Tab. 13: BBCH-Stadien der Sorten zum Termin der 3. N-Gabe in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	2010		2011	
Taifun	54	40 % der Ähre ausgetreten	59	Ende Ährenschieben
Monsun	49/51	Beginn Ährenschieben	55	Mitte Ährenschieben
Golia	47/49	Blattscheide FB öffnet sich	55	Mitte Ährenschieben
Gönen	43/45	Blattscheide FB geschwollen	43	Blattscheide FB beginnt anzuschwellen
Melissos	45/47	Blattscheide FB öffnet sich	55	Mitte Ährenschieben
Piccolo	45	Blattscheide FB geschwollen	51/52	Beginn Ährenschieben
Thasos	45/47	Blattscheide FB öffnet sich	47/51	Blattscheide FB öffnet sich
Triso	45/47	Blattscheide FB öffnet sich	55	Mitte Ährenschieben
Tybalt	43	Blattscheide FB beginnt anzuschwellen	45/47	Blattscheide FB geschwollen

FB=Fahnenblatt

Für die Harnstoff-Lösung (20 kg N ha^{-1}) für Ernte-Parzelle (b) wurde der Harnstoff portionsweise für die zu behandelnden Sorten in einem großen Fass in der entsprechenden Menge Wasser gelöst und dann mit einem Messbecher per Hand jeweils 10 L der Lösung in die Reihenzwischenräume der Ernte-Parzelle ausgebracht. In jedem der 5 Zwischenräume wurden 2 L der Harnstoff-Lösung ausgebracht.

2.2.6 Untersuchte Parameter

Biomasse

Die gebildete Biomasse wurde zu drei Zeitpunkten bestimmt. Die erste Probenahme erfolgte vor der dritten N-Gabe zum Ährenschieben. Dafür wurden pro Sorte in jeder Wiederholung 5 Pflanzen aus dem Rand zwischen den Ernte-Parzellen einer Versuchsparzelle geerntet und die Pflanzen anschließend in Papiertüten im Trockenschrank bei 60°C mindestens 24 h getrocknet.

Zur Blüte erfolgte die zweite Probenahme, für welche die Pflanzen der Ernte-Parzelle (c) geerntet wurden. Die Pflanzen wurden zunächst per Hand inklusive Wurzeln geerntet, die Wurzeln abgeschnitten und in Baumwollsäcken im Trockenschrank bei 60°C getrocknet. Die für die $0,54 \text{ m}^2$ große Ernte-Parzelle bestimmte Trockenmasse wurde dann auf 1 m^2 bezogen.

Die dritte Probenahme fand zur physiologischen Reife statt, wobei sich aufgrund unterschiedlicher Abreife der Sorten unterschiedliche Ernte-Termine ergaben (Tab. 14). 2010 wurde die Blüte im Mittel nach 87 Tagen erreicht, während die Ernte nach 122 Tagen erfolgte. 2011 wurde im Mittel nach 77 Tagen die Blüte erreicht und nach 125 Tagen geerntet. Die Pflanzen der Ernte-Parzellen (a) und (b) wurden per Hand mit Wurzeln geerntet, die Wurzeln entfernt und die Ähren vom Stroh (Halme und Blätter) getrennt. Ähren und Stroh wurden getrennt in Säcken bzw. Papiertüten im Trockenschrank bei 60°C getrocknet. Dies war nötig, um potentiellen Schimmelbefall der Proben zu verhindern, da zur Ernte in beiden Jahren feuchte Witterung herrschte. Nach dem Trocknen wurde die Trockenmasse von Stroh und Ähren erfasst und auf 1 m^2 bezogen.

Ertrag und Ertragsstruktur

Die Anzahl Pflanzen pro m^2 , Ähren pro m^2 sowie der Korn- und Stroh-Ertrag wurden auf der $0,54 \text{ m}^2$ großen Ernte-Parzelle bestimmt und auf 1 m^2 bezogen. Die Anzahl Pflanzen pro m^2 wurde nach dem Auflaufen des Weizens auf Ernte-Parzelle (a) gezählt.

Es wurde davon ausgegangen, dass während der Bestandes-Entwicklung keine Pflanzen abgestorben oder durch andere Einflüsse verloren gegangen sind (z.B. Fraßschaden durch Wühlmäuse oder Abknicken von Pflanzen durch Füchse). Die Anzahl Ähren pro m² (Bestandesdichte) wurde über die Anzahl Ähren pro Parzelle zur Reife bestimmt. Aus der Anzahl Ähren pro Parzelle und der Anzahl Pflanzen pro Parzelle wurde die Anzahl Ähren pro Pflanze berechnet. Das Dreschen der Ähren, für jede Sorte und Wiederholung einzeln, erfolgte mithilfe eines Ährendreschers. Spelzen und Spindeln wurden aufgefangen, die Trockenmasse bestimmt und zur Trockenmasse des Stroh addiert. Anschließend erfolgte die Bestimmung des Korn-Ertrages pro Parzelle und die Zählung der Körner, für die Berechnung der Kornzahl pro Ähre und des Einzelkorngewichtes (EKG). Das EKG wurde bestimmt, indem der Ertrag pro Parzelle durch die Anzahl Körner pro Parzelle geteilt wurde. Diese Methode wurde statt der Bestimmung des Tausendkorngewichtes (TKG) gewählt, da für eine korrekte Bestimmung des TKG (mit 5 Wiederholungen) nicht genügend Material zur Verfügung stand.

Tab. 14: Anzahl der Tage nach Aussaat (TNA) bis Blüte und Ernte zur Reife der Sorten in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Tage bis Blüte [TNA]		Tage bis Ernte zur Reife [TNA]	
	2010	2011	2010	2011
Taifun	82	72	119	124
Monzun	85	75	119	124
Golia	87	83	126	126
Gönen	92	83	126	131
Melissos	85	75	120	125
Piccolo	90	77	118	125
Thasos	87	75	123	125
Triso	87	75	124	124
Tybalt	90	77	125	126

Stickstoff

Die Analyse von Stickstoff- bzw. Rohproteingehalt erfolgte nach Kjeldahl mit Büchi im Labor der Versuchsstation in Berlin-Dahlem (siehe Kapitel 2.1.4). Für die Bestimmung des Stickstoff-Gehaltes in der Ganzpflanze vor der dritten N-Gabe und zur Blüte wurden die fünf zur dritten N-Gabe bzw. die zur Blüte geernteten Pflanzen mit einer

Schneidmühle auf 1,0 mm Siebdurchgang vermahlen. Zur Reife wurden Rohproteingehalt im Korn sowie N-Gehalt im Stroh (vegetative Teile inklusive Spelzen und Spindeln) für die Ernte-Parzellen (a) und (b) bestimmt. Für die Analysen wurde das Korn mit einer Ultra-Zentrifugalmühle von Retsch auf 0,5 mm, das Stroh mit einer Schneidmühle auf 1,0 mm Siebdurchgang vermahlen. Für die Analysen wurde vom gesamten gehäckselten Stroh einer Ernte-Parzelle ein repräsentatives 1/5 entnommen und mit 1/5 der Spelzen und Spindeln vermischt.

Feuchtglutengehalt

Die Bestimmung des Feuchtglutengehaltes im Weizenmehl erfolgte nach ICC-Standard 106/2 im Labor der Versuchsstation in Berlin-Dahlem in vierfacher Wiederholung pro Sorte. Zur Fraktionierung der Gluten- und Nichtglutenproteine aus dem Weizenmehl wurden 2 g Vollkornmehl mit 4 ml 2 % NaCl-Lösung in einer Porzellanschale zu einem Teig verarbeitet. Die Proben wurden zuvor bei 60°C über Nacht im Trockenschrank getrocknet. Der Teig wurde dann mit weiteren 4 ml 2% NaCl-Lösung zu einer Suspension aufgerührt. Die entstandene Suspension wurde über eine Müllergaze (Maschenweite 360 µm) filtriert. Der Teig wurde noch drei weitere Male mit jeweils 4 ml 2% NaCl-Lösung aufgerührt und über die Müllergaze filtriert. Das Feuchtgluten und die flüssige Fraktion wurden jeweils bei 60°C in Porzellanschalen im Trockenschrank getrocknet und anschließend die Trockenmasse (TM) der Gluten-Fraktion bestimmt, um den Feuchtglutengehalt (Formel (18)) zu berechnen.

$$\text{Feuchtglutengehalt}[\%] = \frac{\text{Feuchtgluten [g]} * 100}{\text{Einwaage [g]} * (100 - \text{Feuchte} [\%])} * 100 \quad (18)$$

Nach der Trocknung wurden beide Fraktionen mit Mörser und Pistill zerkleinert, um den N-Gehalt der Fraktionen in Einfachbestimmung zu analysieren.

Wassernutzung

Die Wassernutzungseffizienz der einzelnen Sorten in den Feldversuchen wurde nach Formel 13 berechnet (vgl. Kapitel 2.1.4).

$$\text{WNE} = \frac{W_{\text{Auf}}}{W_{\text{Gesamt}}} * \frac{\text{Biomasse}}{W_{\text{Auf}}} * \text{EI} \quad [\text{g L}^{-1}] \quad (13)$$

Das durch die Pflanzen aufgenommene Wasser (W_{Auf}) wurde aus der Differenz der Bodenfeuchte zur Aussaat und Ernte zur Reife ($\Delta BF_{\text{Aussaat-Reife}}$) berechnet, zu welcher die während der Versuchsdauergefallenen Niederschläge (NS) sowie das zur Blüte applizierte Wasser (bei Ernte-Parzelle (a)) bzw. das Wasser aus der N-Düngung zur Blüte (bei Ernte-Parzelle (b)) addiert wurden (Formel 19).

$$W_{\text{Auf}} [\text{mm}] = \Delta BF_{\text{Aussaat-Reife}} + \text{NS} + \text{Wasser aus N-Düngung} \quad (19)$$

Das Gesamtwasserangebot am Standort (W_{gesamt}) während der Versuchsdauer wurde berechnet aus der Bodenfeuchte zur Aussaat (BF_{Aussaat}) zu welcher wiederum die Niederschläge während des Versuches und das Wasser aus der N-Düngung addiert wurden (Formel (20)).

$$W_{\text{Gesamt}} [\text{mm}] = BF_{\text{Aussaat}} + \text{NS} + \text{Wasser aus N-Düngung} \quad (20)$$

Die Werte der Bodenfeuchte zur Aussaat und Ernte zur Reife wurden aus den zu diesen Zeitpunkten aus verschiedenen Bodenschichten entnommenen Bodenproben bestimmt (Tabelle 12).

2.3 Statistik und Auswertungsmethoden

Die statistischen ANOVA-Varianzanalysen zur Ermittlung der Haupteffekte und ihrer Interaktionen mittels F-Test ($P = 0,05$) wurden mit IBM SPSS Statistics 20.0 durchgeführt. Der Test auf Normalverteilung erfolgte mit Shapiro-Wilk. Varianzhomogenität wurde mit Levene überprüft. Die multiplen Mittelwertvergleiche zur Untersuchung von Unterschieden zwischen den Mittelwerten der Sorten erfolgten mit dem Tukey-Test, Behandlungsunterschiede (Gefäßversuche) wurden mit dem t-Test untersucht ($P = 0,05$). Die Erstellung von Tabellen und Grafiken erfolgte mit MS-Excel 2007 und SigmaPlot.

Die Erstellung der Sorten-Rangfolgen für Ertragsbildung und Qualität sowie Wassernutzung in den Feldversuchen erfolgte mit IBM SPSS Statistics 20.0 und MS-Excel 2007. Dabei wurden die Daten der vier Wiederholungen jeder der neun untersuchten Sorten in den zwei Versuchsjahren als ein Pool betrachtet und für jedes Merkmal einzeln jedem der 72 Werte ein Rang zugeordnet. Der höchste erreichte Wert erhielt dabei, mit Ausnahme des Wasserverbrauchs, den höchsten Rang 1. Aus den Rängen wurde dann für jede Sorte und jedes Merkmal einzeln ein mittlerer Rang über die beiden Versuchsjahre gebildet. Aus den mittleren Rängen der in die Analyse eingeflossenen Merkmale wurde dann ein mittlerer Gesamt-Rang für die Sorte gebildet. Die Sorte mit dem höchsten mittleren Gesamt-Rang erhielt dann den Sorten-Rang 1.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse Gefäßversuche

Der detaillierten Ergebnis-Betrachtung sollen hier Varianzvergleichstabellen vorangestellt werden, welche zunächst einen Überblick über die ermittelten Einflüsse der zwei Prüffaktoren Sorte und Bewässerung, sowie ihrer Wechselwirkung, auf einzelne untersuchte Prüfmerkmale (Parameter) geben sollen.

In allen drei Versuchsjahren konnten für WNE, ETE, EI und Wasserverbrauch pro Pflanze deutliche Sortenunterschiede gefunden werden (Tab. 15). Während die Bewässerung 2009 noch keine Auswirkungen auf die Parameter der Wassernutzung hatte, wurden 2010 sowohl Wassernutzung, als auch Wasserverbrauch, ETE und EI deutlich durch sie beeinflusst. 2011 ergab sich zwar für die Komponenten Wasserverbrauch, ETE und EI ein signifikanter Bewässerungseinfluss, die WNE wurde jedoch über alle Sorten durch das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben nicht signifikant verändert.

Tab. 15: Varianzvergleich Wassernutzung in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Parameter	Sorte			Bewässerung			Interaktion		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
WV [L pro Pflanze]	*	*	*	n.s.	*	*	*	*	*
ETE [g L ⁻¹]	*	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*
WNE [g L ⁻¹]	*	*	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*
Ernte-Index (EI)	*	*	*	n.s.	*	*	*	n.s.	*

WV=Wasserverbrauch; ETE=Evapotranspirationseffizienz, WNE=Wassernutzungseffizienz, * kennzeichnet signifikante Wirkung, n.s.=nicht signifikant

Allerdings traten 2011 auch signifikante Wechselwirkungen der Prüffaktoren Sorte und Bewässerung bei allen Parametern der Wassernutzung auf, sodass eine unterschiedliche Reaktion der untersuchten Sorten vermutet werden kann. 2009 war die Interaktion bei Wasserverbrauch und Ernte-Index signifikant, 2010 nur beim Wasserverbrauch.

Bezüglich Biomassebildung, Korn-Ertrag und Stroh-TM sowie der Parameter der Ertragsstruktur (Tab.16) konnten ebenfalls in allen drei Versuchsjahren, außer 2010 bei der Kornzahl pro Ähre, signifikante Sortenunterschiede gefunden werden. Eine signifikante Beeinflussung durch die Bewässerung konnte 2011 bei allen Merkmalen und 2010 bei Biomassebildung, Korn-Ertrag und Stroh-TM ermittelt werden, während

2009 keines der Merkmale signifikant durch die restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben verändert wurde.

Tab. 16: Varianzvergleich Biomasse, Korn-Ertrag, TM Stroh und Parameter der Ertragsstruktur in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Parameter	Sorte			Bewässerung			Interaktion		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
Biomasse [g]	*	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*
Korn-Ertrag [g]	*	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*
TM Stroh [g]	*	*	*	n.s.	*	*	*	n.s.	*
Ä Pflanze	*	*	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*
Kö Ähre	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.
EKG [mg]	*	*	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*

Biomasse, Korn-Ertrag und TM Stroh jeweils pro Pflanze; Ä Pflanze = Ähren pro Pflanze, Kö Ähre = Körner pro Ähre, EKG = Einzelkorngewicht; * kennzeichnet signifikante Wirkung; n.s. = nicht signifikant

Dabei ergab sich 2011 zudem bei allen Merkmalen, außer der Kornzahl pro Ähre, eine signifikante Interaktion der Prüffaktoren Sorte und Bewässerung, also eine unterschiedliche Reaktion der Sorten auf das Wasserdefizit. 2010 wurde hingegen bei der Kornzahl pro Ähre eine signifikante Interaktion gefunden, während die Interaktion bei allen anderen Merkmalen nicht signifikant war. Auch 2009 wurde nur bei einem Merkmal, der Stroh-TM, eine signifikante Interaktion ermittelt, während die Sorten bezüglich der anderen Merkmale ähnlich reagierten.

Sortenunterschiede traten bei Rohproteingehalt im Korn und N-Gehalt im Stroh in allen drei Jahren auf (Tab. 17). Die Bewässerung wirkte zudem 2009 und 2011 auf beide Merkmale, 2010 nur auf den Rohproteingehalt im Korn. Interaktionen zeigten sich 2009 bei beiden Merkmalen und 2011 beim Rohproteingehalt im Korn.

Tab. 17: Varianzvergleich Rohproteingehalt im Korn und N-Gehalt im Stroh in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Parameter	Sorte			Bewässerung			Interaktion		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011	2009	2010	2011
RP Korn [%]	*	*	*	*	*	*	*	n.s.	*
N Stroh [%]	*	*	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.

RP Korn = Rohproteingehalt im Korn, N Stroh = N-Gehalt im Stroh; * kennzeichnet signifikante Wirkung, n.s.=nicht signifikant

3.1.1 Wassernutzung

Wasserverbrauch

Signifikante Sortenunterschiede konnten beim Wasserverbrauch in allen drei Jahren gefunden werden (Tab. 18). Triso hatte in zwei Jahren einen höheren Wasserverbrauch als die Sorte Taifun, welche in zwei Jahren keinen von Golia signifikant verschiedenen (2009, 2010) und in einem Jahr einen höheren (2011) Wasserbrauch als Golia aufwies. Gönen hatte wiederum in zwei Jahren (2009, 2011) einen deutlich niedrigeren Wasserverbrauch als Golia. Monsun und Naxos hatten jeweils in einem Jahr einen höheren Wasserverbrauch als Taifun. Eine genaue Aufstellung der Wasserverbräuche der Sorten und Bewässerungsvarianten (ww, wd) in den einzelnen Versuchsjahren findet sich im Anhang (Tab. A 5, A6, A7).

Tab. 18: Wasserverbrauch der Sorten und relativer Effekt der restriktiven Bewässerung nach dem Ährenschieben (wd) in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

	Wasserverbrauch Aussaat-Reife [L pro Pflanze]			Relativer Effekt von wd	
	2009	2010	2011	2010	2011
Taifun	2,84 B	2,46 C	4,00 B	-13%	-25%
Golia	2,80 B	2,48 C	3,95 C	-24%	-25%
Gönen	2,71 C	n.u.	3,69 D		-24%
Triso	n.u.	2,76 A	4,35 A	-26%	-27%
Monsun	2,91 A	n.u.	n.u.		
Naxos	n.u.	2,61 B	n.u.	-17%	

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede; Werte sind MW über die Behandlungen (ww, wd); n=5 (2009, 2010) bzw. n=6 (2011); Wasserverbrauch Aussaat-Reife=Wasserverbrauch von Aussaat bis Ernte zur Reife; n.u.=nicht untersucht

Der relative reduzierende Effekt der restriktiven Bewässerung (wd) auf den Wasserverbrauch der Sorten lag 2011 bei allen Sorten bei ca. 25 %. 2010 war die Reduktion bei Taifun und Naxos noch nicht so stark (ca. 15 %), wie bei Triso und Golia, bei denen der Wasserverbrauch um ca. 25 % reduziert war. Der relative Effekt für 2009 ist nicht dargestellt, da er nicht signifikant war.

ETE

Die Evapotranspirationseffizienz (ETE), also die Effizienz bei der Biomassebildung bezogen auf den Wasserverbrauch, ließ in allen drei Jahren deutliche Sortenunterschiede erkennen (Tab. 19). Die mitteleuropäische Sorte Taifun hatte in drei

Jahren eine höhere ETE als die mediterrane Sorte Golia, welche die zweite mediterrane Sorte Gönen wiederum in zwei Jahren (2009, 2011) klar übertraf.

Tab. 19: ETE in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	ETE (Evapotranspirationseffizienz) [g L ⁻¹]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	3,33 a	3,48 a	3,10 a
	wd	3,15 a	3,41 a	3,30 a
	MW	3,24 A	3,45 AB	3,20 A
Golia	ww	2,91 a	3,16 a	2,72 b
	wd	3,09 a	3,50 a	3,09 a
	MW	3,00 B	3,33 B	2,90 B
Gönen	ww	2,37 a		2,32 a
	wd	2,47 a	n.u.	2,43 a
	MW	2,42 C		2,37 C
Triso	ww		3,39 b	3,09 a
	wd	n.u.	3,83 a	2,95 b
	MW		3,61 A	3,02 AB
Monsun	ww	3,27 a		
	wd	3,33 a	n.u.	n.u.
	MW	3,30 A		
Naxos	ww		3,38 a	
	wd	n.u.	3,49 a	n.u.
	MW		3,44 AB	
Bewässerung	ww	2,97 α	3,35 β	2,80 β
	wd	3,01 α	3,56 α	2,94 α
Interaktion	S x B	n.s.	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; S=Sorte; B=Bewässerung

Triso zeigte 2010 und 2011 eine höhere WNE als Golia, genau wie Monsun 2009 und Naxos 2010 Golia übertrafen. Somit erzielten die mitteleuropäischen Sorten deutlich höhere Werte als die mediterranen Sorten. Die restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben erhöhte die ETE in zwei Jahren (2010 und 2011) signifikant und zeigte 2011 signifikante Interaktionen mit den Sorten. Dabei war die ETE bei Golia unter Wasserdefizit signifikant und bei Taifun und Gönen nur tendenziell erhöht, während sie bei Triso signifikant niedriger war als bei optimaler Bewässerung. 2010, mit der später

eingeleiteten Stress-Phase, war die ETE bei Triso durch die restriktive Bewässerung noch erhöht worden.

WNE

Bei der WNE (Wassernutzungseffizienz), der Effizienz bei der Ertragsbildung bezogen auf den Wasserverbrauch, konnte in allen drei Jahren eine signifikante Hauptwirkung des Faktors Sorte gefunden werden (Tab. 20). Taifun mit Werten um $1,55 \text{ g L}^{-1}$ übertraf die mediterrane Sorte Golia (um $1,30 \text{ g L}^{-1}$) dabei in allen drei Jahren deutlich. Gönen, mit Herkunft aus der Türkei, wies wiederum in zwei Jahren eine niedrigere WNE auf (um $1,00 \text{ g L}^{-1}$) als Golia. Triso zeigte in einem Jahr (2010) deutlich höhere Werte als Golia, lag aber 2011 auf einem ähnlichen Niveau wie diese mediterrane Sorte. Monsun und Naxos wiesen ebenfalls in jeweils einem Jahr eine höhere Wassernutzungseffizienz als Golia auf. Damit erreichten die mediterranen Sorten bezüglich der WNE deutlich niedrigere Werte als die mitteleuropäischen Sorten. Die WNE wurde in einem Jahr (2010) durch das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben erhöht, während sie 2009 und 2011 zwar nicht signifikant beeinflusst wurde, aber 2011 Wechselwirkungen mit den Sorten zeigte. So ergab sich bei zwei Sorten (Taifun und Golia) unter dem Wasserdefizit nach dem Ährenschieben eine Erhöhung der Wassernutzungseffizienz, während bei den anderen zwei Sorten Triso und Gönen die WNE durch das Wasserdefizit reduziert wurde. Allerdings waren die Erhöhung bei Taifun und die Verringerung bei Gönen nicht signifikant. Diese Tendenz der leicht höheren WNE unter Wasserdefizit zeigte sich auch schon 2010, dort allerdings bei allen in diesem Jahr geprüften Sorten. Bei Triso erhöhte das Wasserdefizit 2010 die WNE, während 2011 das früher einsetzende Wasserdefizit (zu BBCH 47 statt BBCH 49/51) die WNE bei dieser Sorte im Vergleich zur optimalen Bewässerung reduzierte. Die WNE war bei den mehrjährig geprüften Sorten Taifun, Golia und Triso 2010 etwas höher als 2009 und 2011.

Tab. 20: WNE in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	WNE (Wassernutzungseffizienz) [g L ⁻¹]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	1,56 a	1,56 a	1,49 a
	wd	1,47 a	1,66 a	1,57 a
	MW	1,52 A	1,61 A	1,53 A
Golia	ww	1,22 a	1,27 a	1,16 b
	wd	1,21 a	1,47 a	1,36 a
	MW	1,21 B	1,37 B	1,26 B
Gönen	ww	0,88 b		1,10 a
	wd	1,04 a	n.u.	0,97 a
	MW	0,96 C		1,04 C
Triso	ww		1,60 b	1,47 a
	wd	n.u.	1,84 a	1,19 b
	MW		1,72 A	1,33 B
Monsun	ww	1,51 a		
	wd	1,64 a	n.u.	n.u.
	MW	1,57 A		
Naxos	ww		1,60 b	
	wd	n.u.	1,75 a	n.u.
	MW		1,68 A	
Bewässerung	ww	1,29 α	1,51 β	1,30 α
	wd	1,34 α	1,68 α	1,29 α
Interaktion	S x B	n.s.	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; S=Sorte; B=Bewässerung

Ernte-Index (EI)

Beim Ernte-Index (Tab. 21) waren in allen drei Jahren deutliche Unterschiede zwischen den Sorten zu sehen, wobei die mitteleuropäischen Sorten Werte zwischen 0,44 und 0,49 erreichten. Golia und Gönen, die beiden mediterranen Sorten, lagen deutlich mit Werten zwischen 0,39 und 0,44 darunter. In zwei Jahren (2009 und 2010) wurde der EI durch das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben erhöht, während er in 2011 deutlich reduziert wurde. Dabei gab es in zwei Jahren (2009 und 2011) auch signifikante Wechselwirkungen der restriktiven Bewässerung nach dem Ährenschieben mit den Sorten, welche die Sortenrangfolge jedoch kaum beeinflussten.

Tab. 21: Ernte-Index (EI) in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	Ernte-Index		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	0,47 a	0,45 b	0,48 a
	wd	0,47 a	0,49 a	0,48 a
	MW	0,47 A	0,47 B	0,48 A
Golia	ww	0,41 a	0,40 b	0,43 a
	wd	0,39 a	0,42 a	0,44 a
	MW	0,40 B	0,41 C	0,44 B
Gönen	ww	0,37 b		0,48 a
	wd	0,42 a	n.u.	0,39 b
	MW	0,39 B		0,44 B
Triso	ww		0,47 a	0,48 a
	wd	n.u.	0,48 a	0,41 b
	MW		0,48 AB	0,44 B
Monsun	ww	0,46b		
	wd	0,49 a	n.u.	n.u.
	MW	0,47 A		
Naxos	ww		0,47 b	
	wd	n.u.	0,50 a	n.u.
	MW		0,49 A	
Bewässerung	ww	0,43 β	0,45 β	0,47 α
	wd	0,44 α	0,47 α	0,43 β
Interaktion	S x B	*	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β: Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; S=Sorte; B=Bewässerung

Die Beziehungen zwischen der Wassernutzungseffizienz (WNE) und ihren Komponenten Evapotranspirationseffizienz (ETE) und Ernte-Index (EI) zeigt Abb. 5. Deutlich zu sehen sind dabei die Unterschiede zwischen den mediterranen Sorten (Golia und Gönen) mit ihren deutlich geringeren ETE, EI und WNE und den mitteleuropäischen Sorten (Taifun, Monsun, Triso, Naxos). Unabhängig von der Bewässerung (optimal bzw. restriktiv) fand sich ein positiver Einfluss der ETE auf die WNE, der zudem signifikant mit einem hohen Bestimmtheitsmaß von $r^2=0,87$ sehr eng ist. Der Zusammenhang zwischen Ernte-Index und WNE ist ebenfalls positiv und recht eng, allerdings mit einem etwas geringeren Bestimmtheitsmaß von $r^2=0,66$ nicht so eng wie

zwischen ETE und WNE. Die Bewässerung hatte auch auf diese Regression keinen Einfluss.

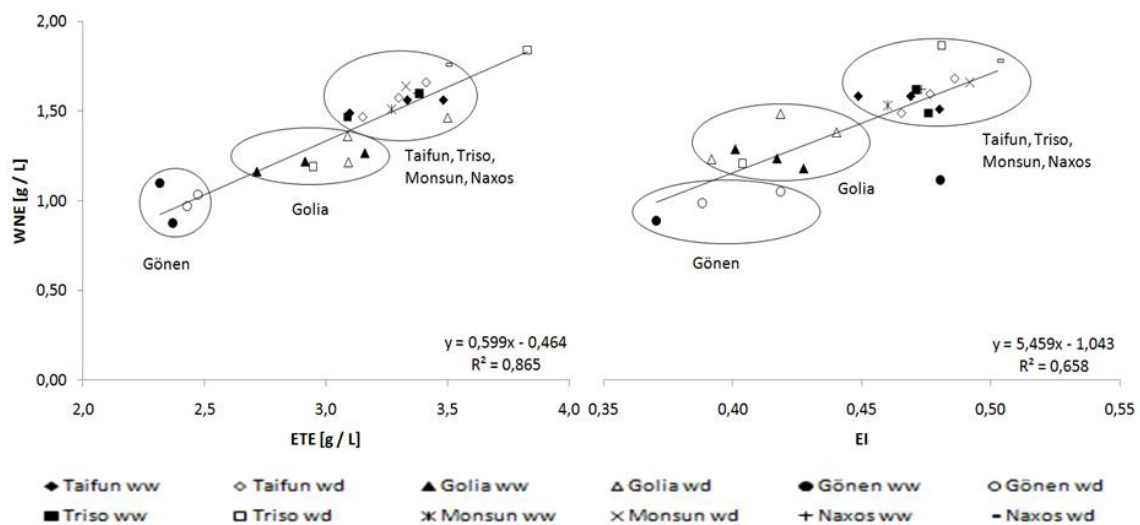


Abb. 5: Regression der WNE [g L⁻¹] auf ETE [g L⁻¹] und Ernte-Index (EI) von 4 mitteleuropäischen und 2 mediterranen Sommerweizensorten in 3 Gefäßversuchen (2009 – 2011)

Der Stress-Index (SI) (Tab. 22), die mittlere Reduktion von Biomasse und Korn-Ertrag durch die restriktive Bewässerung, lag 2009 für beide Merkmale nahe 0, weshalb auf die Darstellung verzichtet wurde. SI und damit Stress-Intensität waren 2011 deutlich höher als 2010, sodass der Stress durch das Wasserdefizit 2010 als milder Stress, 2011 als starker Stress bezeichnet werden kann. Die Sortenreaktionen waren 2010 ähnlich, während 2011 Gönen beim Korn-Ertrag und Triso bei Biomasse und Korn-Ertrag deutlich stärkere Reaktionen auf das Wasserdefizit zeigten als dies bei Taifun und Golia der Fall war.

Tab. 22: Stress-Index (SI) der Sorten in den Gefäßversuchen 2010 und 2011

	Stress-Index (SI)			
	2010		2011	
	Biomasse	Korn-Ertrag	Biomasse	Korn-Ertrag
Taifun	0,15	0,08	0,20	0,20
Golia	0,15	0,11	0,14	0,11
Gönen	n.u.		0,19	0,35
Triso	0,16	0,15	0,31	0,42
Naxos	0,14	0,09	n.u.	
MW	0,15	0,11	0,21	0,27

3.1.2 Biomasse und Ertrag

Bei Biomasse und Korn-Ertrag konnten in allen drei Jahren signifikante Sortenunterschiede gefunden werden, wobei die mitteleuropäischen Sorten in höhere Werte erreichten als die mediterranen Sorten (Abb. 6 und 7). In zwei Jahren (2010 und 2011) konnte bei Biomasse und Ertrag eine signifikante Hauptwirkung für den Faktor Bewässerung gefunden werden. 2011 gab es zudem Wechselwirkungen zwischen Sorte und Bewässerung.

Bezüglich der Biomasse-Bildung (Abb. 6) übertraf Taifun Golia in zwei Jahren (2010, 2011), während Golia wiederum in zwei Jahren deutlich mehr Biomasse bildete als Gönen (2009, 2011). Die mitteleuropäische Sorte Triso übertraf Taifun wiederum in einem Jahr deutlich (2010). Monsun erreichte 2009 ähnliche Werte wie Taifun und Golia, Naxos lag 2010 ebenfalls auf einem ähnlichen Niveau wie Taifun.

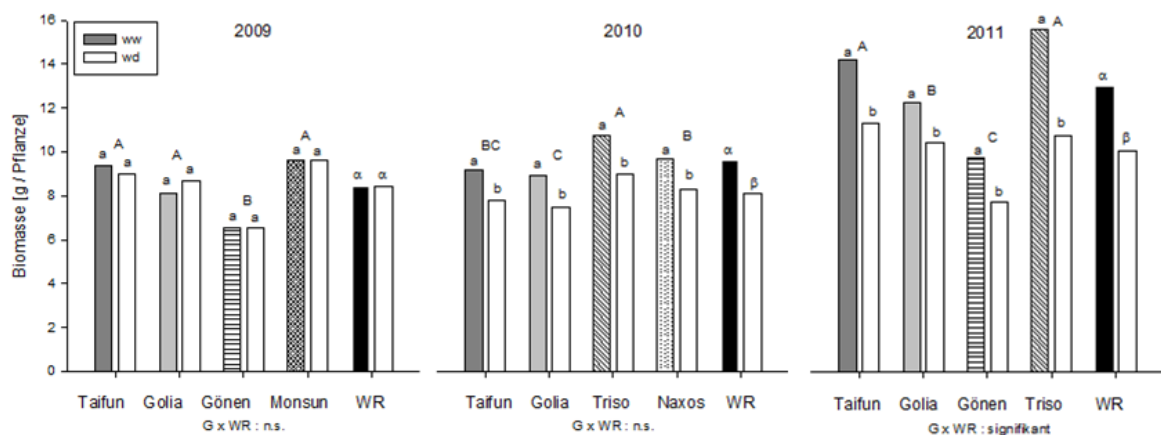


Abb. 6: Biomasse [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A, B Sortenunterschiede (Hauptwirkung); α , β Bewässerungsunterschiede über die Sorten (Hauptwirkung); a, b Bewässerungsunterschiede innerhalb der Sorten; ww=optimale Bewässerung; wd=restriktive Bewässerung (nach dem Ährenschieben); MW=Mittelwert; G=Genotyp (Sorte); WR=Wasserregime (Bewässerung), n.s.=nicht signifikant

Eine niedrigere Biomasse-Bildung durch das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben konnte 2009 nicht beobachtet werden. Dagegen wurde 2010 eine signifikante Reduktion der Biomasse um rund 15 % im Sortenmittel durch die restriktive Bewässerung gefunden, die auch bei allen Sorten in diesem Jahr auftrat. Auch 2011 wurde die Biomassebildung signifikant durch die restriktive Bewässerung beeinflusst. Das Ausmaß der Reduktion war jedoch bei den Sorten sehr unterschiedlich, sodass sich eine signifikante Interaktion von Sorte und Bewässerung ergab. Während die Biomasse pro Pflanze bei Taifun, Golia und Gönen um rund 15-20 % reduziert wurde, war die von

Triso bei Wasserdefizit gebildete Biomasse um 30 % niedriger als in bei optimaler Bewässerung. 2011 wurden zudem bei allen Sorten höhere Biomassen erreicht als in den Jahren 2009 und 2010.

Der Korn-Ertrag von Taifun übertraf den von Golia in drei Jahren deutlich (Abb. 7), während Golia in zwei Jahren einen signifikant höheren Korn-Ertrag als Gönen aufwies. Triso zeigte nur 2010 einen höheren Korn-Ertrag als Taifun, während Monsun 2009 einen ähnlichen, Naxos 2010 einen höheren Korn-Ertrag als Taifun erreichte.

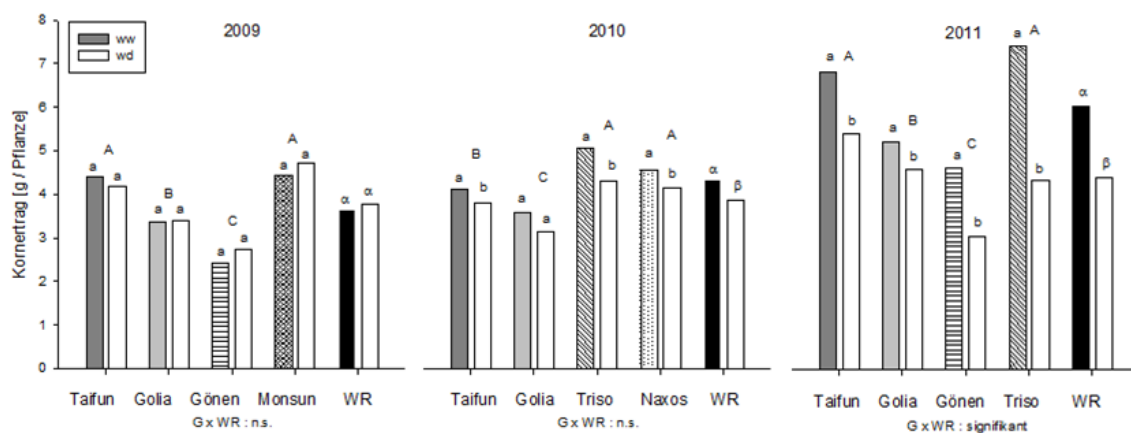


Abb. 7: Korn-Ertrag [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A, B Sortenunterschiede (Hauptwirkung); α, β Bewässerungsunterschiede über die Sorten (Hauptwirkung); a, b Bewässerungsunterschiede innerhalb der Sorten; ww=optimale Bewässerung; wd=restriktive Bewässerung (nach dem Ährenschieben); MW=Mittelwert; G=Genotyp (Sorte); WR=Wasserregime (Bewässerung), n.s.=nicht signifikant

Ein signifikanter Einfluss des Wasserdefizites nach dem Ährenschieben auf den Korn-Ertrag konnte 2010 und 2011 gefunden werden, wobei 2011 zudem signifikante Wechselwirkungen zwischen Sorte und Bewässerung auftraten. Im Sortenmittel lag die Reduktion durch die restriktive Bewässerung 2010 bei rund 11 %, 2011 deutlich höher bei rund 27 %. Während Golia und Taifun 2011 mit 12 % bzw. 20 % eine deutliche unterdurchschnittliche Reduktion zeigten, waren die Reduktionen des Korn-Ertrages bei Gönen und Triso mit 34 % bzw. 42 % überdurchschnittlich stark. Bei den mitteleuropäischen Sorten Taifun, Triso und Naxos war die Reduktion des Korn-Ertrages signifikant, während die bei der mediterranen Sorte Golia nur tendenziell zu sehen war.

Auch bei der pro Pflanze gebildeten Stroh-Trockenmasse (TM Stroh) konnten in allen drei Jahren signifikante Sortenunterschiede gefunden werden (Abb. 8). Während Gönen in zwei Jahren eine signifikant niedrigere Stroh-TM ausbildete als die mitteleuropäischen Sorten, erreichte Golia in allen drei Jahren ähnliche Werte wie

Taifun, Triso, Monsun und Naxos. Triso übertraf wiederum Taifun in zwei Jahren (2010, 2011), Golia in einem Jahr (2011) signifikant.

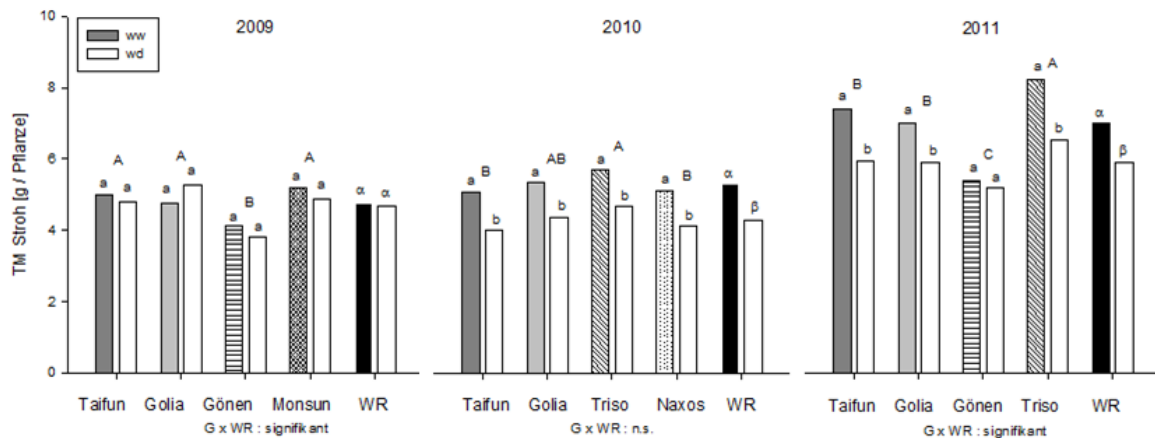


Abb. 8: TM Stroh [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A, B Sortenunterschiede (Hauptwirkung); α , β Bewässerungsunterschiede über die Sorten (Hauptwirkung); a, b Bewässerungsunterschiede innerhalb der Sorten; ww=optimale Bewässerung; wd=restriktive Bewässerung (nach dem Ährenschieben); MW=Mittelwert; G=Genotyp (Sorte); WR=Wasserregime (Bewässerung), n.s.=nicht signifikant

In zwei Jahren (2010, 2011) trat zudem eine signifikante Wirkung des Faktors Bewässerung auf, wobei 2010 alle untersuchten Sorten in ähnlicher Weise auf das Wasserdefizit mit einer um rund 20 % reduzierten Stroh-TM reagierten. 2011 wurde eine signifikant um 15 – 20 % reduzierte Stroh-TM jedoch nur bei den Sorten Taifun, Golia und Triso gefunden, während Gönen unbeeinflusst blieb, sodass sich eine Sorte-Bewässerung-Interaktion ergab. 2009 wurde bei drei Sorten (Taifun, Gönen, Monsun) die Stroh-TM durch die restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben tendenziell reduziert, während sie bei Golia leicht erhöht wurde.

Der Stress-Susceptibility-Index (SSI), die Empfindlichkeit einer Sorte gegenüber einem Stress im Vergleich zur mittleren Reaktion aller untersuchten Sorten, in den Versuchsjahren 2010 und 2011 ist in Tab. 23 dargestellt. Auf die Berechnung der SSI für 2009 wurde verzichtet, da der SI nahe 0 war und die Stress-Intensität sehr gering. Der SSI für die Biomasse liegt 2010 bei allen untersuchten Sorten um 1, d.h. die Sorten haben ähnlich empfindlich reagiert. Bezüglich des Korn-Ertrages zeigten Taifun und Naxos mit einem SSI unter 1 unterdurchschnittliche Empfindlichkeit, während Golia durchschnittlich und Triso deutlich überdurchschnittlich empfindlich auf das Wasserdefizit reagierte. 2011 sehen die Sortenreaktionen deutlich differenzierter aus. So zeigte Golia hinsichtlich Biomasse- und Korn-Ertragsbildung eine deutlich

unterdurchschnittliche Empfindlichkeit. Gönen und Taifun scheinen bezogen auf die Biomasse in gleicher Weise durchschnittlich auf den Dürrestress zu reagieren, während Gönen beim Korn-Ertrag deutlich empfindlicher als Taifun und Golia reagiert. Triso reagiert 2011 sehr stark auf den Dürre-Stress und liegt mit seiner Empfindlichkeit bezogen auf Biomassebildung und Korn-Ertrag deutlich über der mittleren Empfindlichkeit der in 2011 untersuchten Sorten.

Tab. 23: Stress-Susceptibility-Index (SSI) der Sorten in den Gefäßversuchen 2010 und 2011

Stress-Susceptibility-Index (SSI)				
	2010		2011	
	Biomasse	Korn-Ertrag	Biomasse	Korn-Ertrag
Taifun	1,00	0,70	1,19	0,76
Golia	1,00	1,00	0,82	0,42
Gönen	n.u.		1,12	1,29
Triso	1,10	1,32	1,82	1,54
Naxos	0,96	0,84	n.u.	

Zur Berechnung des SSI wurde der mittlere SI aller vier im jeweiligen Jahr untersuchten Sorten genutzt

Der Zusammenhang zwischen der WNE und dem Korn-Ertrag (Tab. 24), basierend auf dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson, war im Mittel von Sorten und Bewässerungsbehandlungen (ww, wd) in allen drei Versuchsjahren positiv und in zwei Jahren auch sehr eng mit Werten zwischen rund 0,8 und 1,0. Lediglich 2010 war der Zusammenhang etwas weniger eng, aber trotzdem positiv mit rund 0,6. Zwischen den beiden Bewässerungsbehandlungen gab es kaum Unterschiede.

Tab. 24: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen WNE und Korn-Ertrag bzw. Biomasse bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung nach dem Ährenschieben im Sortenmittel sowie im Mittel der Bewässerungsvarianten (MW) im Sortenmittel in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Behandlung	Korn-Ertrag			Biomasse		
	2009	2010	2011	2009	2010	2011
ww	0,991*	0,860*	0,963*	0,940*	0,693*	0,898*
WNE wd	0,995*	0,974*	0,975*	0,891*	0,903*	0,842*
MW	0,933*	0,559*	0,769*	0,915*	0,206	0,698*

* kennzeichnet Signifikanz ($P \leq 0,05$)

Auch die Biomasse wies einen positiven Zusammenhang mit der WNE auf, wobei dieser nicht so eng ist wie beim Korn-Ertrag. Während 2009 ein Korrelationskoeffizient von rund 0,9 und 2011 von 0,7 ermittelt wurde, lag er 2010 nur bei 0,2. Allerdings zeigt sich, dass bei getrennter Betrachtung der Bewässerungsbehandlungen auch wieder Werte zwischen 0,7 und 0,9 erreicht werden, die auf einen engen positiven Zusammenhang zwischen WNE und Biomasse hinweisen.

3.1.3 Ertragsstruktur

Bei der Anzahl Ähren pro Pflanze (Tab. 25) konnte in allen drei Versuchsjahren ein signifikanter Einfluss des Faktors Sorte festgestellt werden. Im Gegensatz zum Kornertag war bei der Anzahl Ähren pro Pflanze keine eindeutige Zuordnung aufgrund der Herkunft der Sorten möglich. Taifun bildete in zwei Jahren deutlich mehr Ähren pro Pflanze aus als Golia, während Gönen Golia (2009, 2011) in zwei Jahren und Taifun in einem Jahr (2009) übertrifft. Triso erzielte in zwei Jahren die höchste Anzahl Ähren pro Pflanze und übertraf Taifun in zwei Jahren (2010, 2011), sowie Gönen 2011. Monsun erreichte 2009 das Niveau von Taifun und Gönen, Naxos bildete 2010 ähnliche Ährenzahlen pro Pflanze wie Triso. Die restriktive Bewässerung reduzierte nur 2011 die Anzahl Ähren pro Pflanze. Interaktionen zwischen Sorte und Bewässerung traten in keinem der drei Versuchsjahre auf, obwohl 2010 bei Taifun und 2011 bei Gönen und Triso signifikante Reduktionen der Anzahl Ähren durch das Wasserdefizit beobachtet wurden.

Bezüglich des Parameters Kornzahl pro Ähre (Tab. 26) ergaben sich nur 2009 und 2011 signifikante Sortenunterschiede. Taifun und Golia erzielten dabei in drei Jahren ähnliche Werte und übertrafen Gönen in zwei Jahren (2009, 2011). Triso erreichte 2010 ähnliche Kornzahlen pro Ähre wie Taifun und Golia und war in einem Jahr (2011) weder von Golia und Taifun noch von Gönen signifikant verschieden. Monsun erreichte 2009, Naxos 2010 ähnliche Kornzahlen wie Taifun. In zwei Jahren (2010 und 2011) wurde die Kornzahl pro Ähre durch die restriktive Bewässerung reduziert, wobei sich 2010 noch eine signifikante Wechselwirkung zwischen Sorte und Bewässerung ergab. Bei Triso und Naxos wurde 2010, im Gegensatz zu den Sorten Taifun und Golia, eine signifikante Reduktion der Kornzahl von 15% (Triso) bzw. 19% (Naxos) unter dem Wasserdefizit nach dem Ährenschieben beobachtet. Bei Taifun war die Kornzahl unter dem Wasserdefizit 2010 sogar tendenziell erhöht. 2011 ergab sich bei Golia, Gönen und Triso eine signifikante Reduktion der Kornzahlen unter dem Wasserdefizit von 22%

(Golia), 18% (Gönen) bzw. 28 % (Triso), während die Reduktion bei Taifun nur tendenziell war.

Tab. 25: Anzahl Ähren pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	Ähren pro Pflanze		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	2,33 a	2,00 a	3,92 a
	wd	2,13 a	1,78 b	3,71 a
	MW	2,23 AB	1,89 B	3,81 B
Golia	ww	1,73 a	2,00 a	2,92 a
	wd	1,87 a	1,90 a	3,16 a
	MW	1,80 B	1,95 B	3,03 C
Gönen	ww	2,53 a		3,95 a
	wd	2,67 a	n.u.	3,36 b
	MW	2,60 A		3,68 B
Triso	ww		3,05 a	4,72 a
	wd	n.u.	3,00 a	4,10 b
	MW		3,02 A	4,44 A
Monsun	ww	2,07 a		
	wd	2,20 a	n.u.	n.u.
	MW	2,13 AB		
Naxos	ww		2,78 a	
	wd	n.u.	2,64 a	n.u.
	MW		2,71 A	
Bewässerung	ww	2,17 α	2,46 α	3,88 α
	wd	2,22 α	2,33 α	3,59 β
Interaktion	S x B	n.s.	n.s.	n.s.

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Tab. 26: Kornzahl pro Ähre in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	Kornzahl pro Ähre		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	41,1 a	40,9 a	44,9 a
	wd	42,3 a	44,8 a	41,4 a
	MW	41,7 AB	42,8 A	43,1 A
Golia	ww	43,5 a	38,6 a	46,8 a
	wd	45,3 a	37,9 a	36,6 b
	MW	44,4 A	38,3 A	42,2 A
Gönen	ww	37,4 a		38,9 a
	wd	35,8 a	n.u.	31,9 b
	MW	36,6 B		35,7 B
Triso	ww		42,7 a	45,6 a
	wd	n.u.	36,7 b	33,0 b
	MW		39,7 A	39,3 AB
Monsun	ww	45,0 a		
	wd	43,8 a	n.u.	n.u.
	MW	44,4 A		
Naxos	ww		45,7 a	
	wd	n.u.	36,8 b	n.u.
	MW		41,9 A	
Bewässerung	ww	41,8 α	42,0 α	44,1 α
	wd	41,8 α	39,1 β	35,9 β
Interaktion	S x B	n.s.	*	n.s.

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Beim Einzelkorngewicht (Tab. 27) konnten in allen drei Jahren sortentypische Unterschiede nachgewiesen werden. Golia erreichte in drei Jahren das Niveau von Taifun und übertraf Triso in zwei Jahren (2010, 2011) und Gönen in einem Jahr (2009) deutlich. Gönen und Triso sind 2011 nicht signifikant verschieden. Monsun übertraf Taifun 2009, während Naxos in einem Jahr (2010) auf dem Niveau von Triso lag und von Taifun und Golia deutlich übertroffen wurde. 2011 lag das EKG bei Taifun, Golia und Triso deutlich niedriger als in den Vorjahren, während bei Gönen dieser Unterschied nicht zu finden war.

Tab. 27: Einzelkorngewicht (EKG) [mg] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	Einzelkorngewicht [mg]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	47,67 a	50,23 a	39,23 a
	wd	47,81 a	50,29 a	35,54 b
	MW	47,74 AB	50,26 A	37,39 A
Golia	ww	47,77 a	48,62 a	39,55 a
	wd	43,79 a	48,74 a	40,27 a
	MW	45,78 B	48,68 A	39,91 A
Gönen	ww	28,81 a		31,24 a
	wd	29,76 a	n.u.	30,70 a
	MW	29,29 C		30,99 B
Triso	ww		38,89 b	36,15 a
	wd	n.u.	40,84 a	29,52 b
	MW		39,48 B	32,84 B
Monsun	ww	49,59 a		
	wd	49,99 a	n.u.	n.u.
	MW	49,79 A		
Naxos	ww		38,98 b	
	wd	n.u.	43,70 a	n.u.
	MW		41,34 B	
Bewässerung	ww	43,46 α	44,46 β	36,56 α
	wd	42,84 α	46,16 α	34,36 β
Interaktion	S x B	n.s.	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β: Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

2010 wurde das EKG durch die restriktive Bewässerung erhöht, 2011 dagegen reduziert. Die Erhöhung des EKG war 2010 nur bei Triso und Naxos signifikant, während Taifun und Golia keine Reaktion auf die restriktive Bewässerung zeigten. Unter dem früheren Wassermangel 2011 gab es bei Taifun und Triso eine signifikante Reduktion des EKG, während die mediterranen Sorten Golia und Gönen 2011 keine Reaktion auf das Wasserdefizit zeigten.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Korn-Ertrag und den Parametern der Ertragsstruktur Ähren pro Pflanze (Ä Pfl), Körner pro Ähre (Kö Ä), Einzelkorngewicht (EKG) in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011 sind in Tab. 28 dargestellt. Die Werte

wurden dabei jeweils für die optimal und die restriktiv bewässerte Variante über die Sorten des jeweiligen Versuchsjahres gepoolt. Die Zusammenhänge sind dabei sowohl zwischen den beiden Bewässerungsvarianten als auch zwischen den Jahren sehr unterschiedlich. Während 2009 das EKG in beiden Bewässerungsvarianten der bestimmende Faktor für den Korn-Ertrag war, zeigte sich 2010 ein sehr starker positiver Zusammenhang zwischen der Anzahl Ähren pro Pflanze und dem Korn-Ertrag. Allerdings konnte 2010 auch ein enger negativer Zusammenhang zwischen EKG und Korn-Ertrag gefunden werden. 2011 zeigte sich wieder der enge positive Zusammenhang zwischen Ähren pro Pflanze und Korn-Ertrag, allerdings nur in der optimal bewässerten Variante. Der Korn-Ertrag der restriktiv bewässerten Pflanzen hing 2011 deutlich stärker vom EKG ab. Ein positiver Einfluss der Anzahl Körner pro Ähre konnte 2011 in beiden Bewässerungsvarianten gefunden werden, wobei der Zusammenhang in der restriktiv bewässerten Variante enger war.

Tab. 28: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen Korn-Ertrag und Parametern der Ertragsstruktur bei optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung nach dem Ährenschieben in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

		2009			2010			2011		
Beh.		Ä Pfl	Kö Ä	EKG	Ä Pfl	Kö Ä	EKG	Ä Pfl	Kö Ä	EKG
Korn-	ww	0,05	0,16	0,81*	0,87*	0,24	-0,69*	0,60*	0,42*	0,27
Ertrag	wd	-0,01	0,17	0,84*	0,80*	-0,33	-0,68*	0,16	0,58*	0,47*

Ä Pfl=Ähren pro Pflanze, Kö Ä= Körner pro Ähre, EKG=Einzelkorngewicht, * kennzeichnet Signifikanz ($P \leq 0,05$)

3.1.4 Stickstoffgehalt in Korn und Stroh

Der Rohproteingehalt im Korn (Tab. 29) war in den drei Versuchsjahren zum Einen das Ergebnis sortentypischer Unterschiede. Golia und Gönen erreichten in jeweils zwei Jahren signifikant höhere Rohproteingehalte als der mitteleuropäische E-Weizen Taifun und in einem Jahr einen höheren Rohproteingehalt als Triso. Taifun und Triso übertrafen wiederum Naxos in einem Jahr (2010), während Monsun 2009 nicht signifikant verschieden war von Taifun. Zudem wurde 2009 der Rohproteingehalt im Sortenmittel durch das Wasserdefizit reduziert, 2010 und 2011 jedoch signifikant erhöht. Auf das Wasserdefizit reagierten die Sorten zum Teil sehr unterschiedlich, sodass 2009 und 2011 signifikante Wechselwirkungen zwischen Sorte und Bewässerung beobachtet wurden.

Tab. 29: Rohproteingehalt im Korn [%] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	Rohprotein im Korn [%]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	9,24 a	9,43 a	8,82 b
	wd	9,29 a	10,15 a	11,13 a
	MW	9,26 B	9,79 B	9,97 B
Golia	ww	10,52 a	12,44 a	9,54 b
	wd	8,33 b	12,83 a	11,69 a
	MW	9,42 B	12,63 A	10,61 A
Gönen	ww	11,45 a		9,45 b
	wd	10,11 b	n.u.	11,85 a
	MW	10,78 A		10,54 A
Triso	ww		9,29 b	7,53 b
	wd	n.u.	10,05 a	11,89 a
	MW		9,67 B	9,71 B
Monsun	ww	8,94 a		
	wd	8,71 a	n.u.	n.u.
	MW	8,82 B		
Naxos	ww		8,48 b	
	wd	n.u.	8,95 a	n.u.
	MW		8,71 C	
Bewässerung	ww	10,04 α	9,91 β	8,83 β
	wd	9,11 β	10,49 α	11,63 α
Interaktion	S x B	*	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Während der Rohproteingehalt im Korn bei den mitteleuropäischen Sorten Taifun und Monsun unter dem sehr milden Stress 2009 im Vergleich zur optimalen Bewässerung nicht verändert war, zeigten die mediterranen Sorten signifikant reduzierte Rohproteingehalte im Korn durch das Wasserdefizit. Der etwas stärkere Stress 2010 führte bei den mitteleuropäischen Sorten Triso und Naxos zu einer signifikanten, bei Taifun und Golia jedoch zu keiner Erhöhung der Rohproteingehalte im Korn. Das früher eingeleitete Wasserdefizit 2011 bewirkte bei allen vier untersuchten Sorten eine Erhöhung des Rohproteingehaltes im Vergleich zur optimal bewässerten Variante. Dabei erreichen Taifun, Golia und Gönen in der optimal bewässerten Variante rund 80 % des Rohproteingehaltes der restriktiv bewässerten Variante, während es bei Triso nur

63 % sind. Gönen erreichte im Mittel über die Behandlungen zudem in beiden Jahren ähnliche Werte, während sich bei Golia zwischen den Jahren deutlich Unterschiede zeigen. Bei Taifun zeigte sich mit den Versuchsjahren eine leichte Erhöhung in den Rohproteingehalten im Korn.

Die N-Menge im Korn (Tab. 30) war in allen drei Jahren das Ergebnis sortentypischer Unterschiede, wobei Taifun in zwei Jahren (2009, 2011) höhere Werte erreichte als Golia, die Gönen wiederum in einem Jahr (2011) deutlich übertraf. Triso übertraf Taifun 2010, erzielte aber 2011 eine deutlich geringere N-Menge im Korn als Taifun. Monsun erreichte 2009 das Niveau von Taifun, genau wie Naxos 2010.

Tab. 30: N-Menge im Korn [mg Pflanze⁻¹] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	N-Menge im Korn [mg]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	71,04 a	66,82 a	107,44 a
	wd	68,33 a	66,77 a	108,53 a
	MW	69,69 A	66,80 B	107,99 A
Golia	ww	61,16 a	75,00 a	84,05 b
	wd	49,46 a	68,00 a	96,66 a
	MW	55,31 B	71,51 AB	90,36 B
Gönen	ww	48,55 a		73,48 a
	wd	48,10 a	n.u.	67,94 a
	MW	48,32 B		70,96 C
Triso	ww		84,37 a	101,26 a
	wd	n.u.	75,84 a	85,85 b
	MW		80,10 A	93,55 B
Monsun	ww	69,18 a		
	wd	71,55 a	n.u.	n.u.
	MW	70,37 A		
Naxos	ww		62,80 a	
	wd	n.u.	63,98 a	n.u.
	MW		63,39 B	
Bewässerung	ww	62,48 α	72,25 α	91,55 α
	wd	59,36 α	68,65 α	90,69 α
Interaktion	S x B	n.s.	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben hatte im Sortenmittel in keinem der drei Versuchsjahre einen Einfluss auf die N-Menge im Korn zur Reife. 2011 traten jedoch signifikante Interaktionen zwischen Sorte und Bewässerung auf. Während Taifun und Gönen nicht auf das Wasserdefizit reagierten, war die N-Menge bei Golia durch die restriktive Bewässerung erhöht, bei Triso dagegen deutlich niedriger.

Die N-Menge in der Gesamtpflanze (Tab. 31), und damit die N-Aufnahme, war bei der mediterranen Sorte Gönen in zwei Jahren niedriger als bei Golia.

Tab. 31: N-Menge in der Gesamtpflanze [mg Pflanze⁻¹] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	N-Menge in der Gesamtpflanze [mg]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	87,67 a	85,48 a	128,55 a
	wd	83,10 a	83,00 a	132,75 a
	MW	85,39 AB	84,24 AB	130,65 A
Golia	ww	77,85 a	92,60 a	105,88 b
	wd	70,25 a	82,45 a	119,40 a
	MW	74,05 BC	87,53 AB	112,64 BC
Gönen	ww	70,99 a		98,56 a
	wd	64,71 a	n.u.	105,47 a
	MW	67,85 C		102,01 C
Triso	ww		100,11 a	122,41 a
	wd	n.u.	89,34 a	113,65 a
	MW		94,72 A	118,03 AB
Monsun	ww	90,50 a		
	wd	85,98 a	n.u.	n.u.
	MW	88,24 A		
Naxos	ww		84,19 a	
	wd	n.u.	78,24 a	n.u.
	MW		81,21 B	
Bewässerung	ww	81,75 α	90,59 α	113,85 a
	wd	76,01 β	83,26 β	117,82 a
Interaktion	S x B	n.s.	n.s.	n.s.

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Triso übertraf Taifun und Golia 2010, zeigte 2011 aber niedrige N-Mengen in der Pflanze als Taifun. Monsun übertraf wiederum Taifun 2009, während Naxos 2010 von Triso, Golia und Taifun übertroffen wurde.

Die N-Aufnahme wurde zwar 2009 und 2010 im Sortenmittel durch das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben signifikant reduziert, während dieser Effekt bei allen in diesen Jahren untersuchten Sorten zwar tendenziell vorhanden, aber nicht signifikant war. 2011 wurde dagegen im Sortenmittel eine tendenziell höhere N-Aufnahme bei der restriktiv bewässerten Variante gefunden, welche sich auch bei Taifun und Gönen wiederfand und bei Golia signifikant war. Triso reagierte jedoch anders und wies bei Wasserdefizit nach dem Ährenschieben tendenziell niedrigere N-Mengen in der Pflanze auf. Taifun übertraf Golia bezüglich der N-Aufnahme in zwei Jahren (2009, 2011), während sie sich 2010 nicht signifikant unterschieden.

2011 waren insgesamt höhere N-Mengen in der Pflanze zu finden als 2010 bzw. 2009.

Der Stickstoff-Gehalt im Stroh (Tab. 32) zeigte in allen drei Jahren signifikante Sortenunterschiede, sowie in zwei Jahren (2009, 2011) eine signifikante Wirkung des Wasserdefizites nach dem Ährenschieben. Die mediterrane Sorte Gönen erzielte beim N-Gehalt im Stroh in zwei Jahren (2009, 2011) höhere Werte als Taifun und Golia, welche wiederum in drei Jahren auf ähnlichem Niveau lagen. Golia und Taifun übertrafen Triso in einem Jahr (2010) und wiesen 2011 einen ähnlichen N-Gehalt im Stroh auf wie dieser. Monsun lag 2009 auf einem ähnlichen Niveau wie Taifun und Golia, ebenso wie Naxos 2010. Während Golia und Taifun in allen drei Versuchsjahren bezüglich des N-Gehaltes im Stroh ähnliche Werte erreichten, behielt Gönen 2011 deutlich mehr N im Stroh (0,60 %) als 2009 (0,45 %). Das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben reduzierte den N-Gehalt im Stroh im Sortenmittel in einem Jahr (2009) signifikant und erhöhte ihn in einem anderen Jahr (2011) signifikant, während 2010 das Wasserdefizit keine Auswirkung auf dieses Merkmal zeigte. Zudem reagierten 2011 bzw. 2010 alle Sorten gleich auf das Wasserdefizit während 2009 eine deutliche Interaktion mit der Sorte zu verzeichnen war. So ergaben sich durch die restriktive Bewässerung bei Monsun signifikant und bei Gönen tendenziell niedrigere N-Gehalte im Stroh.

Tab. 32: N-Gehalt im Stroh [%] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	N-Gehalt im Stroh [%]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	0,31 a	0,35 a	0,28 b
	wd	0,28 a	0,39 a	0,41 a
	MW	0,29 B	0,37 A	0,35 B
Golia	ww	0,32 a	0,34 a	0,30 b
	wd	0,36 a	0,35 a	0,38 a
	MW	0,34 B	0,35 AB	0,34 B
Gönen	ww	0,49 a		0,52 a
	wd	0,40 b	n.u.	0,70 a
	MW	0,45 A		0,60 A
Triso	ww		0,28 a	0,26 b
	wd	n.u.	0,29 a	0,45 a
	MW		0,28 B	0,36 B
Monsun	ww	0,39 a		
	wd	0,27 b	n.u.	n.u.
	MW	0,33 B		
Naxos	ww		0,39 a	
	wd	n.u.	0,34 a	n.u.
	MW		0,37 AB	
Bewässerung		0,38 α	0,34 α	0,34 β
		0,33 β	0,34 α	0,49 α
Interaktion	S x B	*	n.s.	n.s.

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Signifikante Sortenunterschiede fanden sich bei der N-Menge im Stroh (Tab. 33) nur in einem der drei Versuchsjahre (2011). Gönen übertraf dabei Taifun und Golia deutlich, während Triso weder von Gönen noch von Taifun oder Golia signifikant verschieden war. Gönen zeigte auch 2009 eine tendenziell höhere N-Menge im Stroh als Taifun. Die N-Menge im Stroh wurde zudem in allen drei Versuchsjahren signifikant durch das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben beeinflusst. Während sie 2009 und 2010 im Sortenmittel durch das Wasserdefizit reduziert wurde, konnte 2011 eine Zunahme der N-Menge im Stroh festgestellt werden. 2009 und 2011 gab es zudem Interaktionen zwischen der Defizitbewässerung und den Sorten. Während Taifun leicht, Gönen und

Monsun signifikant niedrigere N-Mengen im Stroh durch das Wasserdefizit aufwiesen, war bei Golia nie N-Menge erhöht. 2011 war dagegen bei Gönen und Triso die N-Menge im Stroh signifikant durch das Wasserdefizit erhöht, während Taifun und Golia nicht beeinflusst wurden. Die N-Menge im Stroh unterschied sich zwischen ww und wd 2010 bei Naxos nicht signifikant aufgrund einer hohen Standardabweichung von 9,2 mg bei der optimal bewässerten Variante.

Tab. 33: N-Menge im Stroh [mg Pflanze⁻¹] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	N-Menge im Stroh [mg]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	16,63 a	18,66 a	21,11 a
	wd	14,77 a	16,23 a	24,22 a
	MW	15,70 A	17,44 A	22,67 B
Golia	ww	16,69 a	17,60 a	21,83 a
	wd	20,78 a	14,44 a	22,74 a
	MW	18,74 A	16,02 A	22,29 B
Gönen	ww	22,45 a		25,08 b
	wd	16,61 b	n.u.	37,53 a
	MW	19,53 A		31,31 A
Triso	ww		15,74 a	21,16 b
	wd	n.u.	13,50 a	27,80 a
	MW		14,62 A	24,48 AB
Monsun	ww	21,33 a		
	wd	14,43 b	n.u.	n.u.
	MW	17,88 A		
Naxos	ww		21,39 a	
	wd	n.u.	14,26 a	n.u.
	MW		17,82 A	
Bewässerung		19,28 a	18,35 a	22,30 b
		16,65 b	14,61 b	28,07 a
Interaktion	S x WR	*	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

3.2 Ergebnisse Feldversuche

Den Ergebnissen der zwei Feldversuche ist zunächst ein Varianzvergleich (Tab. 34) vorangestellt, um einen Überblick über den Einfluss des Prüffaktors Sorte auf die untersuchten Merkmale zu geben. 2011 wurden bei allen untersuchten Merkmalen signifikante Sortenunterschiede ermittelt. 2010 wurden bei allen Merkmalen, außer Wasserverbrauch und N-Gehalt im Stroh, signifikante Sortenunterschiede gefunden. Die Ergebnisse der untersuchten Merkmale waren zudem, mit Ausnahme des Korn-Ertrages, zwischen den zwei Versuchsjahren signifikant verschieden und es traten, außer beim Feuchtglutengehalt, signifikante Wechselwirkungen zwischen Sorte und Jahr auf. Die Sorten reagierten also unterschiedlich auf die unterschiedliche Witterung der Versuchsjahre 2010 und 2011.

Tab. 34: Varianzvergleich Feldversuche 2010 und 2011

Parameter	Hauptwirkung Sorte			Hauptwirkung	Interaktion
	2010	2011	MW 2 Jahre	Jahr	Sorte x Jahr
Korn-Ertrag [g m ⁻²]	*	*	*	n.s.	*
Biomasse [g m ⁻²]	*	*	*	*	*
Stroh-TM [g m ⁻²]	*	*	*	*	*
Pflanzen m ⁻²	*	*	*	*	*
Ähren m ⁻²	*	*	*	*	*
Ähren Pflanze ⁻¹	*	*	*	*	*
Kornzahl Ähre ⁻¹	*	*	*	*	*
Einzelkorngewicht (EKG) [mg]	*	*	n.s.	*	*
Wasserverbrauch (WV) [mm]	n.s.	*	*	*	*
ETE [g m ⁻² mm ⁻¹]	*	*	*	*	*
WNE [g m ⁻² mm ⁻¹]	*	*	*	*	*
Ernte-Index	*	*	*	*	*
Rohproteingehalt im Korn [%]	*	*	*	*	*
N-Menge im Korn [g]	*	*	*	*	*
Feuchtglutengehalt [%]	*	*	*	*	*
N-Gehalt im Stroh [%]	n.s.	*	n.s.	*	*

n.s. = nicht signifikant, * = signifikant ($P \leq 0,05$)

3.2.1 Biomasse und Ertrag

Bei Korn-Ertrag (Tab. 35) und Biomasse (Tab. 36) in den zwei Feldversuchen waren sowohl in den Einzeljahren als auch im Mittel der Jahre deutliche Sortenunterschiede zu erkennen. Im Mittel über Sorten und Jahre wurden ein Korn-Ertrag von 319 g m^{-2} und eine Biomasse von 905 g m^{-2} erzielt. Zwischen den Jahren unterschied sich der Korn-Ertrag im Mittel über die neun Sorten nicht (Tab. 35). Im Mittel der Sorten wurde ein Korn-Ertrag von 325 g m^{-2} (2010) bzw. 312 g m^{-2} (2011) ausgebildet. Piccolo und Monsun erreichten im Mittel über zwei Jahre einen höheren Korn-Ertrag als Thasos, Tybalt und Melissos, welche wiederum Golia und Triso übertrafen. Taifun erreichte nicht das Niveau von Triso, übertraf aber Gönen, die Sorte mit dem geringsten Korn-Ertrag im zweijährigen Mittel.

Tab. 35: Korn-Ertrag [g m^{-2}] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Korn-Ertrag [g m^{-2}]				
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	MW
Taifun	274,4 d	62,35	258,8 abc	58,82	266,6 BC
Monsun	397,9 a	34,02	373,1 ab	66,36	385,5 A
Melissos	302,4 bcd	47,76	334,5 ab	99,68	318,5 AB
Piccolo	372,2 abc	41,97	410,4 a	70,54	391,3 A
Thasos	291,8 cd	21,51	410,9 a	102,96	351,4 AB
Triso	295,1 cd	43,99	301,9 abc	98,60	300,0 ABC
Tybalt	305,5 abcd	22,15	377,4 ab	91,24	341,5 AB
Golia	392,2 ab	42,70	215,0 bc	70,66	303,6 ABC*
Gönen	293,1 cd	29,01	126,7 c	3,39	209,9 C*
MW	324,9 α		312,4 α		318,7
GD	93,4		188,0		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Die mitteleuropäischen Sorten Taifun, Monsun, Melissos, Piccolo und Triso erreichten in beiden Versuchsjahren ähnliche Erträge, während Melissos und Tybalt zwar 2011 einen höheren Korn-Ertrag als 2010 erzielten, der jedoch nicht signifikant war. Dagegen wurde bei den mediterranen Sorten Golia und Gönen 2011 um 35 % bzw. 57 % signifikant niedrigere Erträge als 2010 beobachtet. Monsun erreichte 2010 den höchsten

Korn-Ertrag (398 g m^{-2}), den geringsten verzeichnete Taifun (275 g m^{-2}), woraus sich eine Spannweite von 123 g m^{-2} ergab. 2011 war diese Spannweite zwischen Thasos ($410,9 \text{ g m}^{-2}$) und Gönen (127 g m^{-2}) mit 284 g m^{-2} deutlich größer. 2011 ergaben sich zudem deutlich höhere Standardabweichungen als 2010.

Bei der Biomasse-Bildung (Tab. 36) übertraf Piccolo im zweijährigen Mittel Melissos, Monsun und Thasos, die wiederum eine höhere Biomasse bildeten als Golia, Tybalt und Triso. Taifun bildete zwar weniger Biomasse als Triso, übertraf aber noch Gönen.

Tab. 36: Biomasse [g m^{-2}] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Biomasse [g m^{-2}]				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	938,6 cd	82,30	659,6 bc	57,22	799,1 CD*
Monsun	1149,4 ab	136,31	820,3 ab	82,24	984,8 AB*
Melissos	1176,5 ab	75,43	803,3 ab	131,18	989,9 AB*
Piccolo	1209,5 a	87,60	906,4 a	77,52	1058,0 A*
Thasos	983,8 bcd	27,06	911,2 a	134,76	947,5 AB
Triso	995,9 bcd	90,84	742,3 ab	121,13	869,1 BC*
Tybalt	918,5 d	16,08	896,2 a	63,49	907,3 BC
Golia	1129,7 abc	93,98	725,3 ab	111,96	927,5 ABC*
Gönen	856,6 d	53,25	473,0 c	5,64	664,8 D*
MW	1039,8 α		770,8 β		905,3
GD	194,0		235,2		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Im Gegensatz zum Korn-Ertrag zeigte sich bei der Biomasse im Sortenmittel ein deutlicher Unterschied zwischen den Jahren. 2010 wurde im Sortenmittel rund 35 % mehr Biomasse gebildet als 2011. Allerdings reagierten die Sorten sehr unterschiedlich auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den zwei Versuchsjahren, sodass außer bei Tybalt und Thasos 2011 signifikant weniger Biomasse gebildet wurde. Der Unterschied zum Jahr 2010 war bei den mitteleuropäischen Sorten (Taifun, Monsun, Melissos, Piccolo und Triso) aber deutlich geringer als bei den mediterranen Sorten Golia und Gönen. Piccolo bildete 2010 die signifikant höchste Biomasse (1210 g m^{-2}), die geringsten Biomassen wurden von Tybalt (919 g m^{-2}) und Gönen (857 g m^{-2})

produziert. Gönen bildete damit rund 30 % weniger Biomasse als Piccolo. 2011 erreichten Thasos, Piccolo und Tybalt mit Biomassen um 900 g m^{-2} die höchsten Werte. Gönen produzierte auch 2011 die geringste Biomasse (473 g m^{-2}) und damit nur rund die Hälfte der Biomasse von Thasos. Golia erreichte in beiden Jahren das Niveau der mitteleuropäischen Sorten und übertraf dabei Taifun in zwei Jahren.

Auch beim Strohertrag (Tab. 37) wurden sowohl im Mittel der Jahre als auch in den zwei Versuchsjahren signifikante Sortenunterschiede festgestellt. Im Mittel über zwei Versuchsjahre und neun Sorten wurden rund 587 g m^{-2} Stroh produziert. Melissos und Piccolo übertrafen Golia, Thasos und Monsun, welche wiederum einen höheren Strohertrag zeigten als Triso und Tybalt. Taifun lag zwar unter den Werten von Tybalt, erzielte aber noch einen höheren Stroh-Ertrag als Gönen.

Tab. 37: Stroh-TM [g m^{-2}] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Stroh-TM [g m^{-2}]				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	664,2 cd	55,77	389,1 cd	24,74	526,6 C*
Monsun	751,5 abc	107,14	447,2 abc	26,78	599,3 ABC*
Melissos	874,1 a	56,08	468,8 ab	36,81	671,4 A*
Piccolo	837,4 ab	28,39	496,0 ab	16,75	666,7 A*
Thasos	692,0 cd	64,13	511,8 ab	40,23	601,9 ABC*
Triso	700,7 bcd	60,90	437,4 bc	32,65	569,1 BC*
Tybalt	613,0 cd	39,45	518,8 a	35,46	565,9 BC*
Golia	737,5 abc	61,63	510,3 ab	48,58	623,9 AB*
Gönen	563,6 d	7,39	345,0 d	7,23	454,3 D*
MW	714,9 α		458,3 β		586,6
GD	141,0		76,4		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Zwischen den zwei Versuchsjahren gab es allerdings deutliche Unterschiede. Wurden 2010 im Mittel über die Sorten noch 715 g m^{-2} ausgebildet, waren es 2011 mit 458 g m^{-2} rund 36 % weniger Stroh. Dieser signifikante Unterschied zwischen den Jahren trat zudem bei allen untersuchten Sorten auf. 2010 wurde der höchste Stroh-Ertrag von Melissos (874 g m^{-2}) erreicht, Gönen bildete mit rund 564 g m^{-2} 36 % weniger Stroh.

Die Spannweite betrug hier 310 g m⁻². 2011 wurde der höchste Stroh-Ertrag von Tybalt (519 g m⁻²) gebildet, während Gönen (345 g m⁻²) mit rund 34 % weniger Stroh-Ertrag als Tybalt wieder die geringsten Mengen ausbildete. Der Stroh-Ertrag von Golia ist in beiden Jahren nicht signifikant von der besten Sorte verschieden.

3.2.2 Ertragsstruktur

Pflanzen m⁻²

Im Mittel der Jahre und Sorten wurden aus einer Aussaatdichte von 400 keimfähigen Körnern pro m² 322 Pflanzen pro m² gebildet, wobei es sowohl deutliche Unterschiede zwischen den zwei Versuchsjahren, als auch zwischen den Sorten, im Mittel der Jahre und innerhalb der Jahre (Tab. 38) gab. 2011 wurden mit 353 Pflanzen pro m² deutlich mehr Pflanzen pro m² ausgebildet als 2010 (292 Pflanzen pro m²).

Tab. 38: Anzahl Pflanzen pro m² in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Pflanzen m ⁻²				
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	MW
Taifun	315 ab	24,7	358 abcd	20,3	336 AB*
Monsun	326 a	31,0	326 bcd	32,0	326 ABC
Melissos	312 ab	40,1	364 abcd	21,5	338 AB
Piccolo	270 bc	36,9	306 d	23,9	288 C
Thasos	314 ab	29,4	394 ab	13,9	353 A*
Triso	258 c	29,9	331 abcd	28,0	294 BC*
Tybalt	268 bc	30,3	383 abc	15,2	325 ABC*
Golia	250 c	13,7	318 cd	33,1	284 C*
Gönen	314 ab	36,0	399 a	49,5	356 A*
MW	292 β		353 α		322
GD	50		72		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Gönen und Thasos erreichten im Mittel der zwei Jahre mit 356 bzw. 353 Pflanzen die signifikant höchste Anzahl Pflanzen pro m² und übertrafen damit Melissos, Taifun, Monsun und Tybalt. Triso entwickelte zwar weniger Pflanzen pro m² als Tybalt,

übertraf aber Piccolo und Golia. Sechs Sorten (Taifun, Thasos, Triso, Tybalt, Golia und Gönen) wiesen 2011 eine signifikant höhere Anzahl Pflanzen pro m² auf als 2010.

Monsun erreichte 2010 mit 325 Pflanzen pro m² die höchsten Werte, Golia und Triso mit 250 bzw. 258 Pflanzen pro m² die niedrigsten Werte. Gönen war mit 314 Pflanzen nicht signifikant von Monsun verschieden. 2011 wurde die höchste Anzahl Pflanzen von Gönen erreicht (399 Pflanzen), während Piccolo die signifikant niedrigsten Werte aufwies (306 Pflanzen pro m²). Golia gehörte auch 2011 zu den Sorten mit den wenigsten Pflanzen pro m² und war nicht signifikant von Piccolo verschieden. Die Standardabweichungen waren in beiden Jahren ähnlich.

Ähren pro m²

Die Anzahl Ähren pro m² (Tab. 39) lässt ebenfalls deutliche Sortenunterschiede, sowie einen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsjahren erkennen. Im Mittel über Jahre und Sorten wurden 444 Ähren pro m² produziert. 2010 wurden im Mittel der Sorten 46 % mehr Ähren pro m² ausgebildet als 2011. Im zweijährigen Mittel erreichte Triso mit 543 Ähren pro m² die höchsten Werte und übertraf dabei Melissos und Piccolo, die wiederum Thasos übertrafen. Taifun, Tybalt und Monsun bildeten weniger Ähren pro m² als Thasos, übertrafen aber Golia und Gönen (385 bzw. 373 Ähren pro m²). Der signifikante Unterschied zwischen den Versuchsjahren findet sich bei allen neun untersuchten Sorten wieder. Den größten Unterschied bei der Anzahl Ähren pro m² zwischen den Versuchsjahren gab es bei der Sorte Melissos. Hier wurden 2011 nur 59 % der Ährenanzahl ausgebildet, welche 2010 erreicht wurde. Der geringste Unterschied trat bei Taifun, mit nur 14 % Ähren pro m² weniger als 2010, auf. Monsun, Piccolo, Thasos, Triso, Tybalt, Golia und Gönen wiesen 2011 22 – 43 % weniger Ähren auf im Vergleich zu 2010. Die meisten Ähren pro m² wurden 2010 von Triso (694 Ähren) ausgebildet, die niedrigsten von Taifun, Monsun, Tybalt, Golia und Gönen. Die Spannweite zwischen Triso und Golia betrug 2010 247 Ähren. Allerdings erreichten beide mediterrane Sorten 2010 ähnliche Werte wie die mitteleuropäischen Sorten Taifun, Monsun und Tybalt und waren von ihnen auch nicht signifikant verschieden. 2011 wiesen Triso, Taifun, Melissos und Piccolo die höchsten Ährenzahlen pro m² auf, während Gönen wieder die Sorte mit der geringsten Anzahl Ähren pro m² war. Die Spannweite zwischen Triso und Gönen war 2011 mit 98 Ähren deutlich geringer als 2010.

Tab. 39: Anzahl Ähren pro m² in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Ähren m ⁻²				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	450 c	27,9	386 a	18,6	418 CD*
Monsun	474 c	73,3	349 ab	10,6	411 CD*
Melissos	648 ab	65,1	380 a	20,3	514 AB*
Piccolo	568 bc	34,6	384 a	43,7	476 ABC*
Thasos	546 bc	24,1	375 ab	58,0	461 BC*
Triso	694 a	36,9	393 a	33,3	543 A*
Tybalt	469 c	58,4	366 ab	37,0	417 CD*
Golia	447 c	10,9	323 ab	15,9	385 D*
Gönen	451 c	61,4	295 b	51,4	373 D*
MW	527 α		361 β		444
GD	122		81		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Ähren pro Pflanze

Bei der Anzahl Ähren pro Pflanze (Tab. 40) konnten ebenfalls signifikante Sortenunterschiede gefunden werden, sowohl innerhalb der Versuchsjahre als auch im zweijährigen Mittel. Zudem zeigte sich ein deutlicher Einfluss des Versuchsjahres. Im Mittel über Jahre und Sorten wurden 1,44 Ähren pro Pflanze ausgebildet. 2010 wurden im Mittel der neun Sorten mit 1,85 Ähren 77 % mehr Ähren pro Pflanze produziert als dies 2011 (1,04 Ähren pro Pflanze) der Fall war. Triso bildete im zweijährigen Mittel die meisten Ähren pro Pflanze (1,96 Ähren pro Pflanze), gefolgt von der Sorte Piccolo, welche Melissos deutlich übertraf. Golia, Tybalt, Thasos, Taifun und Monsun übertrafen wiederum Gönen im zweijährigen Mittel. 2010 erreichte Triso mit 2,73 Ähren pro Pflanze die signifikant höchsten Werte, während Taifun, Monsun und Gönen die signifikant wenigsten Ähren bildeten. 2011 bildete Piccolo die meisten Ähren pro Pflanze (1,26 Ähren pro Pflanze), Gönen mit 0,74 Ähren pro Pflanze die wenigsten. Die Standardabweichungen waren 2011 etwas geringer als 2010. Der signifikante Einfluss des Versuchsjahres wurde bei allen neun untersuchten Sorten gefunden, wobei die Sorten sehr unterschiedlich reagierten. Während bei Taifun und Monsun 2011 um 25 %

niedrigere Ährenzahlen pro Pflanze beobachtet wurden als 2010, war die Reduktion im Vergleich zu 2010 bei den anderen fünf mitteleuropäischen Sorten (Melissos, Piccolo, Thasos, Triso und Tybalt) mit 41 % bis 56 % deutlich stärker. Auch die mediterranen Sorten reagierten 2011 stark mit 43 % (Golia) bzw. 50 % (Gönen) weniger Ähren pro Pflanze gegenüber 2010.

Tab. 40: Anzahl Ähren pro Pflanze in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Ähren pro Pflanze				
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	MW
Taifun	1,43 c	0,15	1,08 ab	0,10	1,25 CD*
Monsun	1,45 c	0,19	1,08 ab	0,13	1,26 CD*
Melissos	2,08 b	0,17	1,05 ab	0,04	1,56 BC*
Piccolo	2,15 b	0,30	1,26 a	0,12	1,70 AB*
Thasos	1,78 bc	0,21	0,95 bc	0,17	1,36 CD*
Triso	2,73 a	0,28	1,19 ab	0,12	1,96 A*
Tybalt	1,80 bc	0,35	0,96 bc	0,12	1,38 CD*
Golia	1,80 bc	0,08	1,02 ab	0,08	1,41 BCD*
Gönen	1,48 c	0,34	0,74 c	0,11	1,11 D*
MW	1,85 α		1,04 β		1,44
GD	0,50		0,27		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Kornzahl pro Ähre

Die Kornzahl pro Ähre (Tab. 41) lag im Mittel von Sorten und Jahren bei 25,6 Körnern und ließ sowohl in den Einzeljahren als auch im Mittel der Jahre eine signifikante Hauptwirkung des Faktors Sorte erkennen. Zudem unterscheiden sich die Versuchsjahre deutlich voneinander. 2011 war die Anzahl Körner pro Ähre gegenüber 2010 deutlich verringert (22,4 bzw. 29,2 Körner pro Ähre). Im zweijährigen Mittel wurden die höchsten Kornzahlen pro Ähre von Piccolo erreicht (30,0 Körner pro Ähre), gefolgt von Thasos, Monsun, Tybalt und Golia, die Melissos und Taifun übertrafen. Die niedrigsten Kornzahlen pro Ähre bildeten Gönen und Triso (22,9 bzw. 21,5 Körner pro Ähre). Die Unterschiede zwischen den Jahren sind auf Sortenebene sehr unterschiedlich. Während Thasos eine nahezu gleiche Kornzahl in beiden Jahren produzierte und bei Taifun,

Melissos, Piccolo und Triso die Kornzahl pro Ähre um nur rund 13 % reduziert war im Vergleich zu 2010, gab es bei anderen Sorten wesentlich deutlichere Reaktionen. So ergaben sich 2011 für die beiden anderen mitteleuropäischen Sorten Monsun und Tybalt Kornzahlen, die um 27 % unter denen von 2010 lagen. Die mediterranen Sorten Golia und Gönen zeigten besonders starke Abweichungen in der Kornzahl pro Ähre. Ihre Werte erreichten 2011 nur rund 50 % des Vorjahres 2010. Monsun und Golia erreichten 2010 (33,5 bzw. 33,6) die signifikant höchsten Werte. Die signifikant niedrigsten Kornzahlen pro Ähre wurden 2010 von Triso mit nur 22,8 Körnern ausgebildet. Die Spannweite bezüglich der Kornzahlen pro Ähre lag 2010 bei rund 11 Körnern, 2011 bei 14,4 Körnern. Allerdings waren in 2011 nur die Sorten Thasos (29,1 Körner pro Ähre) und Gönen (14,7 Körner pro Ähre) signifikant voneinander verschieden. 2011 wurden zudem höhere Standardabweichungen beobachtet.

Tab. 41: Kornzahl pro Ähre in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Kornzahl pro Ähre				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	25,23 cd	5,92	21,81 ab	5,51	23,52 BC
Monsun	33,45 a	0,62	24,44 ab	2,77	28,94 AB*
Melissos	25,63 bcd	1,38	22,04 ab	5,47	23,84 BC
Piccolo	32,23 ab	2,91	27,85 a	2,79	30,04 A
Thasos	29,18 abcd	1,20	29,10 a	4,42	29,14 AB
Triso	22,83 d	1,92	20,11 ab	5,52	21,47 C
Tybalt	29,80 abc	1,79	21,95 ab	3,51	25,86 ABC*
Golia	33,58 a	1,65	15,89 b	4,13	24,73 ABC*
Gönen	31,13 ab	5,20	14,74 b	1,54	22,93 C*
MW	29,23 α		22,36 β		25,61
GD	6,70		9,78		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Einzelkorngewicht (EKG)

Beim Einzelkorngewicht (EKG) wurden im Mittel von Jahren und Sorten 29,9 mg erreicht (Tab. 42). 2011 wurden im Sortenmittel deutlich schwerere Körner ausgebildet (38,2 mg) als 2010 (21,6 mg). Im zweijährigen Mittel wurden zwischen den Sorten signifikante Unterschiede festgestellt, wobei Monsun, Golia und Tybalt mit einem EKG über 30 mg die höchsten Werte erzielten. 2010 erreichten Golia und Monsun die signifikant höchsten Einzelkorngewichte (26,1 mg bzw. 25,4 mg). Die niedrigsten EKG wurden 2010 von den Sorten Melissos, Thasos, und Triso (18,3 bis 18,6 mg) ausgebildet. 2011 erreichte Tybalt das signifikant höchste EKG (46,7 mg), während Gönen deutlich leichtere Körner ausbildete (27,9 mg). Die Spannweitelag 2011 bei 18,8 mg, in 2010 nur bei 7,8 mg. Melissos, Thasos, Triso und Tybalt erreichten 2011 ein EKG, das um rund 110% höher lag als 2010. Auch Piccolo erreichte ein um 90 % höheres EKG als 2010, während es bei Monsun rund 72 % und bei Taifun 58 % höher lag. Bei Golia und Gönen fielen die Zunahmen im EKG mit 29 % im Vergleich zu 2010 geringer aus als bei den mitteleuropäischen Sorten. Die Standardabweichungen sind 2011 im Vergleich zu 2010 leicht erhöht.

Tab. 42: Einzelkorngewicht (EKG) [mg] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	EKG [mg]				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	24,30 ab	1,44	30,96 cd	3,23	27,63 B*
Monsun	25,39 a	2,71	43,56 ab	2,10	34,48 A*
Melissos	18,27 c	2,42	39,75 ab	2,86	29,01 B*
Piccolo	20,35 bc	1,30	38,36 bc	2,06	29,35 B*
Thasos	18,41 c	2,28	37,21 bc	3,37	27,81 B*
Triso	18,61 c	1,74	38,15 bc	3,02	28,38 B*
Tybalt	22,03 abc	1,46	46,66 a	3,23	34,34 A*
Golia	26,07 a	1,25	41,30 ab	2,89	33,69 A*
Gönen	21,21 bc	1,45	27,87 d	7,97	24,54 B
MW	21,62 β		38,20 α		29,91
GD	4,12		7,70		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

3.2.3 Wassernutzung

Wasserverbrauch

Der Wasserverbrauch (WV) betrug im Mittel von neun Sorten und zwei Jahren rund 280 mm (Tab. 43). Dabei war der Wasserverbrauch im Sortenmittel 2010 (261 mm) signifikant niedriger als 2011 (297 mm). Im Mittel der zwei Jahre lag der Wasserverbrauch der Sorten Taifun, Monsun, Melissos, Piccolo, Thasos, Golia und Gönen mit Werten zwischen 280 und 294 mm deutlich über dem Wasserverbrauch von Tybalt und Triso (253 bzw. 236 mm). 2010 konnten bei Wasserverbräuchen zwischen 250 und 270 mm keine Sortenunterschiede festgestellt werden. 2011 hatten die Sorten Taifun, Monsun, Melissos, Piccolo, Thasos, Golia und Gönen (322 bis 305 mm) einen deutlich höheren Wasserverbrauch als Triso und Tybalt (235 bzw. 236 mm). Während der Wasserverbrauch bei Triso und Tybalt 2010 höher war als 2011, war er bei Taifun, Monsun, Melissos, Piccolo, Thasos, Golia und Gönen 2010 niedriger.

Tab. 43: Wasserverbrauch [mm] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Wasserverbrauch [mm]				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	254 a	12,54	311 a	6,63	283 A*
Monsun	250 a	2,84	310 a	11,92	280 A*
Melissos	259 a	8,42	312 a	6,31	286 A*
Piccolo	265 a	20,78	319 a	8,72	292 A*
Thasos	268 a	16,95	320 a	10,20	294 A*
Triso	268 a	16,18	235 b	6,72	252 B*
Tybalt	270 a	7,93	236 b	6,35	253 B*
Golia	254 a	22,00	322 a	13,34	288 A*
Gönen	256 a	12,82	305 a	15,31	281 A*
MW	261 β		297 α		279
GD	32		20		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

ETE

Die Evapotranspirationseffizienz (ETE), die Effizienz der Pflanze bei der Biomasse-Bildung bezogen auf den Wasserverbrauch (siehe Kapitel 3.1.4, Formel 12), erreichte im Mittel über Sorten und Jahre einen Wert von $3,33 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ (Tab. 44). 2010 wurde mit $4,00 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ im Sortenmittel eine deutlich höhere ETE festgestellt als 2011 ($2,65 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$).

Im Mittel über zwei Jahre verzeichneten Piccolo, Monsun, Melissos und Tybalt mit Werten zwischen $3,56$ und $3,71 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ die höchsten Werte, gefolgt von Triso, Golia und Thasos, welche Taifun übertrafen. Taifun erreichte zwar eine höhere ETE als Gönen ($2,45 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$), war von dieser aber nicht signifikant verschieden.

Tab. 44: Evapotranspirationseffizienz ETE [$\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	ETE [$\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$]				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	3,69 bcd	0,22	2,12 cd	0,21	2,91 BC*
Monsun	4,60 a	0,50	2,65 bc	0,31	3,62 A*
Melissos	4,54 abc	0,18	2,58 bc	0,47	3,56 A*
Piccolo	4,58 ab	0,49	2,84 bc	0,18	3,71 A*
Thasos	3,68 cd	0,26	2,86 bc	0,46	3,27 AB*
Triso	3,72 abcd	0,44	3,17 ab	0,56	3,45 AB
Tybalt	3,40 d	0,13	3,80 a	0,34	3,60 A
Golia	4,46 abc	0,47	2,26 cd	0,37	3,36 AB*
Gönen	3,36 d	0,33	1,55 d	0,10	2,45 C*
MW	4,00 α		2,65 β		3,33
GD	0,90		0,85		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

2010 erreichte Monsun die höchste ETE ($4,60 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$). Tybalt und Gönen lagen rund 26 % unter der ETE von Monsun und wiesen damit 2010 die signifikant niedrigsten Werte auf ($3,40$ bzw. $3,36 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$). Melissos, Piccolo und Golia erreichten ebenfalls hohe Werte um $4,5 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ und waren von Monsun nicht signifikant verschieden, während Taifun, Thasos und Triso jeweils eine niedrigere ETE um $3,7 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ aufwiesen und von Gönen nicht signifikant verschieden waren.

2011 erreichte Tybalt mit $3,80 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ die höchste ETE, Gönen mit $1,55 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ wieder die geringsten Werte. Triso wies mit $3,17 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ ebenfalls hohe Werte auf und war von Tybalt nicht signifikant verschieden. Monsun, Melissos, Piccolo und Thasos lagen mit Werten um $2,7 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ auf einem mittleren Niveau und waren von Tybalt signifikant verschieden. Golia und Taifun wiesen mittlere bis niedrige Werte auf (um $2,2 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) und waren von Gönen nicht signifikant verschieden.

Bei allen Sorten außer Triso und Tybalt wurde 2011 eine im Vergleich zu 2010 signifikant niedrigere ETE festgestellt. Bei den übrigen mitteleuropäischen Sorten (Taifun, Monsun, Piccolo, Thasos) lag die ETE in 2011 im Mittel 37 % niedriger als 2010, bei den mediterranen Sorten Golia und Gönen betrug der Unterschied ca. 50 %.

WNE

Die Wassernutzungseffizienz (WNE), die Effizienz der Pflanze bei der Bildung von Korn-Ertrag bezogen auf den Wasserverbrauch (vgl. Kapitel 3.1.4, Formel 13), zeigte sowohl im Mittel der zwei Versuchsjahre als auch in den Einzeljahren deutliche Sortenunterschiede (Tab. 45).

Tab. 45: Wassernutzungseffizienz WNE [$\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$] in den Feldversuchen 2010 und 2011

WNE [$\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$]					
Sorte	2010	St.abw.	2011	St.abw.	MW
Taifun	0,89 bc	0,22	0,59 abc	0,13	0,74 BC
Monsun	1,29 a	0,09	0,85 ab	0,15	1,07 A*
Melissos	0,88 bc	0,12	0,76 ab	0,23	0,82 B
Piccolo	1,21 a	0,14	0,93 a	0,15	1,07 A*
Thasos	0,85 c	0,04	0,92 a	0,22	0,88 AB
Triso	0,86 bc	0,12	0,70 ab	0,22	0,78 BC
Tybalt	0,89 bc	0,08	0,85 ab	0,20	0,87 AB
Golia	1,14 ab	0,14	0,49 bc	0,16	0,82 B*
Gönen	0,85 c	0,09	0,24 c	0,01	0,55 C*
MW	0,99 α		0,70 β		0,84
GD	0,29		0,42		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Im Mittel über Sorten und Jahre wurde eine WNE von $0,84 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ erreicht. 2010 zeigte sich im Mittel der Sorten mit $0,99 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ eine signifikant höhere Wassernutzungseffizienz als 2011 ($0,70 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$).

Monsun und Piccolo wiesen im zweijährigen Mittel mit jeweils $1,07 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ die signifikant höchsten Werte auf, übertrafen Thasos und Tybalt und waren von Golia und Melissos signifikant verschieden. Golia und Melissos erreichten wiederum eine höhere ETE als Taifun und Triso, die Gönen ($0,55 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) aber noch übertrafen.

Monsun und Piccolo erreichten 2010 die signifikant höchsten WNE ($1,29$ bzw. $1,21 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$), während bei Thasos und Gönen (jeweils $0,85 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) die niedrigsten Werte ermittelt wurden. Taifun, Melissos, Triso und Tybalt erreichten ebenfalls nur Werte bis $0,89 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, während Golia mit $1,14 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ fast auf einem ähnlichen Niveau lag wie Monsun und Piccolo. 2011 erreichten Piccolo und Thasos ($0,93$ bzw. $0,92 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) die höchste Wassernutzungseffizienz. Die weiteren mitteleuropäischen Sorten lagen auf mittlerem Niveau ($0,59$ bis $0,85 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$), während Gönen mit $0,24 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ die signifikant niedrigste Wassernutzungseffizienz aufwies. Bei vier Sorten (Monsun, Piccolo, Golia und Gönen) konnte 2010 eine signifikant höhere Wassernutzungseffizienz festgestellt werden als 2011. Bei den mediterranen Sorten Golia und Gönen war die WNE 2011 stärker reduziert als bei den mitteleuropäischen Sorten.

Ernte-Index

Der Ernte-Index (EI), das Verhältnis von gebildetem Korn-Ertrag zur gebildeten Biomasse, im Mittel über Jahre und Sorten lag bei $0,35$ und zeigte in beiden Jahren und im Mittel der Jahre einen deutlichen Sorteneinfluss, sowie einen deutlichen Unterschied zwischen den zwei Versuchsjahren (Tab. 46). Im Mittel über zwei Jahre wurde der signifikant höchste Ernte-Index von Monsun erreicht ($0,40$), gefolgt von Piccolo, Tybalt, Thasos, Triso, Melissos und Taifun. Taifun übertraf zwar Golia und Gönen ($0,31$), war von ihnen aber nicht signifikant verschieden. 2011 war der Ernte-Index im Sortenmittel signifikant höher als 2010 ($0,39$ bzw. $0,31$). Alle mitteleuropäischen Sorten erreichten 2011 einen signifikant höheren Ernte-Index als 2010, während bei den mediterranen Sorten Golia und Gönen 2011 ein niedrigerer Ernte-Index als 2010 zu beobachten war.

2010 wiesen die Sorten Monsun, Golia, Gönen und Tybalt die signifikant höchsten Werte beim Ernte-Index auf ($0,33$ bis $0,35$), während Melissos mit $0,26$ einen

signifikant niedrigeren Ernte-Index zeigte. 2011 erreichten Monsun, Piccolo, Thasos, Melissos und Tybalt mit Werten zwischen 0,45 und 0,41 einen signifikant höheren Ernte-Index als Golia (0,29) bzw. Gönen (0,27).

Tab. 46: Ernte-Index EI in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Ernte-Index				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	0,29 ab	0,05	0,39 ab	0,06	0,34 ABC*
Monsun	0,35 a	0,02	0,45 a	0,04	0,40 A*
Melissos	0,26 b	0,04	0,41 a	0,06	0,34 ABC*
Piccolo	0,31 ab	0,02	0,45 a	0,04	0,38 AB*
Thasos	0,30 ab	0,03	0,44 a	0,05	0,37 ABC*
Triso	0,30 ab	0,03	0,40 ab	0,08	0,35 ABC*
Tybalt	0,33 a	0,02	0,42 a	0,08	0,38 ABC*
Golia	0,35 a	0,02	0,29 bc	0,06	0,32 BC*
Gönen	0,34 a	0,02	0,27 c	0,01	0,31 C*
MW	0,31β		0,39α		0,35
GD	0,07		0,12		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Die Regression der Wassernutzungseffizienz (WNE) auf die Evapotranspirationseffizienz (ETE) zeigt in beiden Versuchsjahren einen ähnlich engen positiven Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 \sim 0,36$ (Abb. 9). Eine deutlich niedrigere ETE und WNE als die mitteleuropäischen Sorten zeigten die mediterranen Sorten dabei vor allem im Versuchsjahr 2011.

Die Regression der WNE auf den Ernte-Index zeigte jedoch in den zwei Versuchsjahren ein unterschiedlich enger Zusammenhang (Abb. 10). Während sich 2010 nur ein geringer positiver Zusammenhang zeigte, war der Zusammenhang zwischen WNE und Ernte-Index 2011 mit $r^2 \sim 0,48$ ebenfalls positiv, aber deutlich enger.

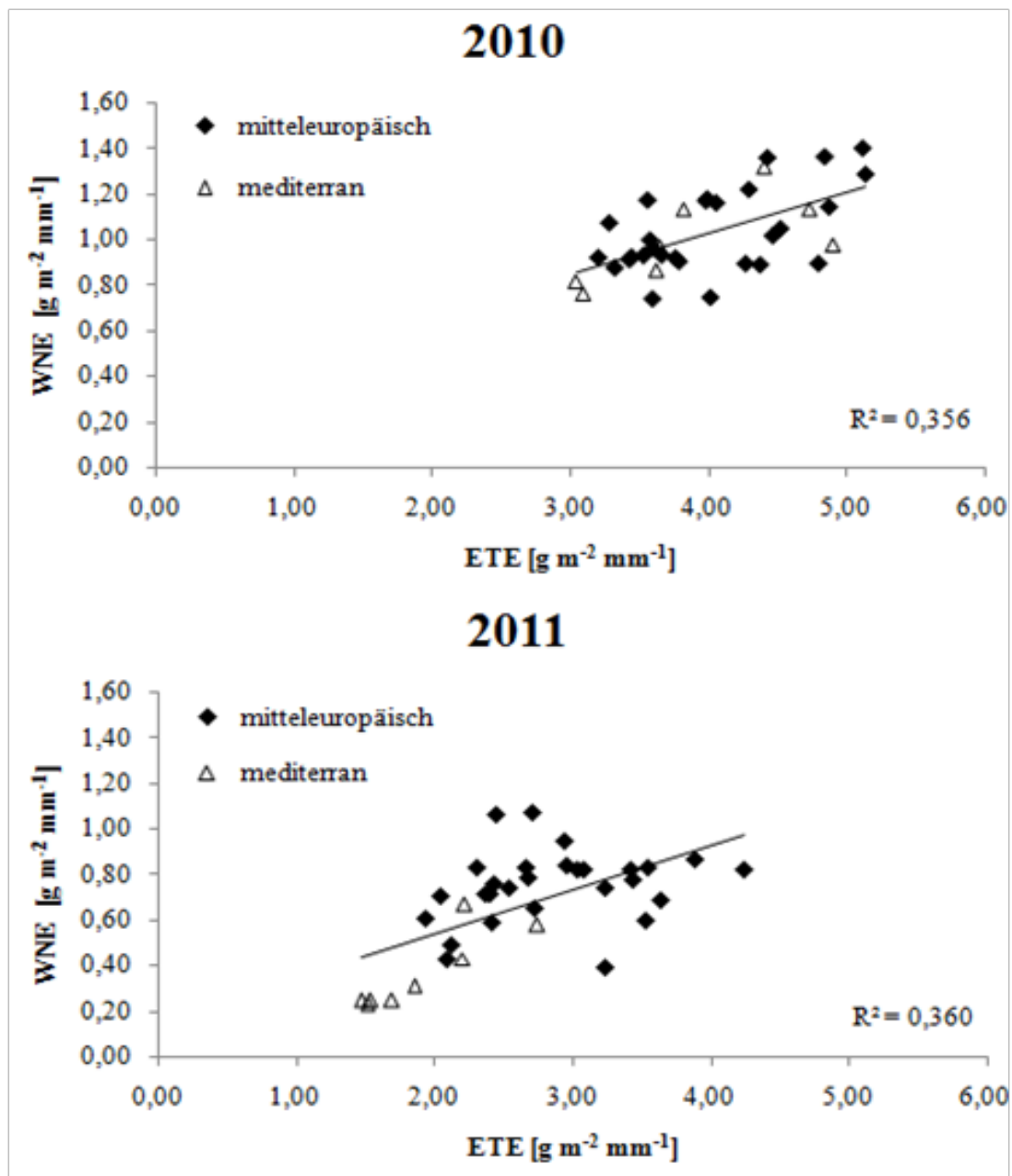


Abb. 9: Regression der WNE [g m⁻² mm⁻¹] auf ETE [g m⁻² mm⁻¹] von 7 mitteleuropäischen und 2 mediterranen Sommerweizensorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 (n=4)

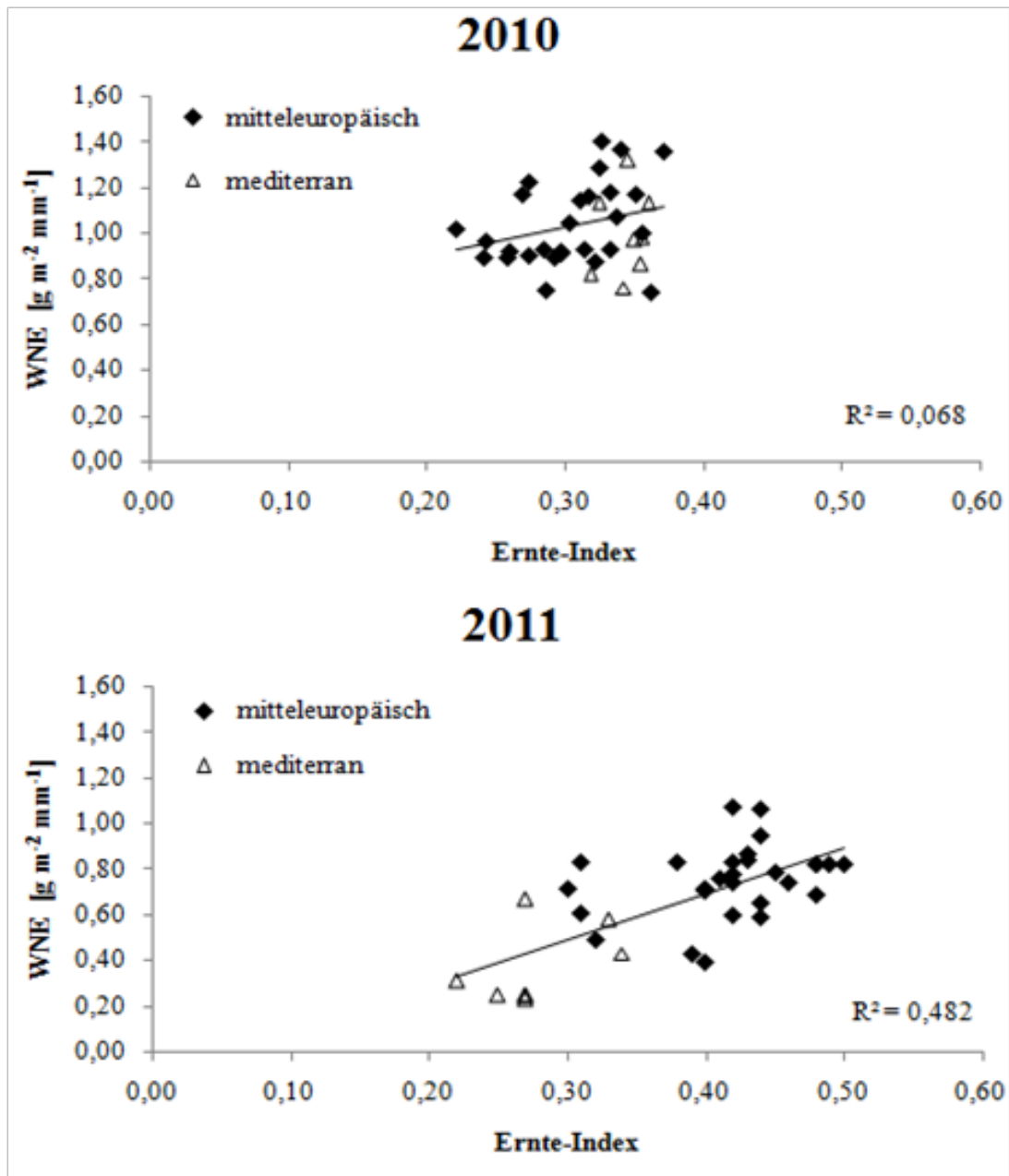


Abb. 10: Regression der WNE [g m⁻² mm⁻¹] auf den Ernte-Index (EI) von 7 mitteleuropäischen und 2 mediterranen Sommerweizensorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 (n=4)

3.2.4 Proteingehalt im Korn und Stickstoff-Gehalt im Stroh

Rohproteingehalt

Der Rohproteingehalt im Korn lag im Mittel über zwei Versuche und neun Sorten bei 17,9 % (Tab. 47) und zeigte einen deutlichen Einfluss des Faktors Sorte. 2010 wurde zudem mit 18,2 % ein signifikant höherer Rohproteingehalt erreicht als 2011 (17,6 %).

Im Mittel über beide Jahre betrachtet erreichte der E-Weizen Triso die höchsten Werte (19,9 %), während Monsun (A-Weizen) die niedrigsten Werte aufwies (15,7 %). Der

zweite E-Weizen Taifun war mit 18,3 % ebenfalls hohe Werte, genauso wie die mediterrane Sorte Gönen (19,1 %) von Triso nicht signifikant verschieden.

Melissos, Golia, Thasos und Piccolo erreichten mit Rohproteingehalten im Korn zwischen 17,7 und 18,1 % zwar nicht das Niveau von Triso, waren aber von Monsun signifikant verschieden, während Tybalt keinen signifikant höheren Rohproteingehalt als Monsun erzielte. 2010 erreichte Triso den signifikant höchsten Rohproteingehalt (20,4 %), den niedrigsten wies Monsun mit 15,6 % auf. Die mediterranen Sorten Golia und Gönen erreichten mit 17,1 % bzw. 18,3 % niedrige bis mittlere Werte. Die mitteleuropäischen Sorten Taifun, Melissos, Piccolo, Thasos und Tybalt bildeten Rohproteingehalte im Korn zwischen 17,4 und 19,3 %.

Tab. 47: Rohproteingehalt im Korn [%] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Rohproteingehalt Korn [%]					
Sorte	2010	St.abw.	2011	St.abw.	MW
Taifun	17,4 bcd	0,41	19,1 a	0,54	18,3 ABC*
Monsun	15,6 d	0,70	15,8 d	0,53	15,7 D
Melissos	19,3 ab	1,55	16,8 bcd	1,08	18,1 BC*
Piccolo	18,8 abc	0,36	16,2 d	0,94	17,5 BC*
Thasos	18,7 abc	1,22	16,6 cd	1,66	17,7 BC
Triso	20,4 a	1,19	19,4 a	1,57	19,9 A
Tybalt	18,2 abc	0,93	15,8 d	1,11	17,0 CD*
Golia	17,1 cd	0,52	18,9 abc	0,63	18,0 BC*
Gönen	18,3 abc	1,07	20,1 a	0,34	19,1 AB*
MW	18,2 α		17,6 β		17,9
GD	2,4		2,5		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

2011 wurden die höchsten Rohproteingehalte im Korn von Gönen, Triso und Taifun mit Werten zwischen 19,1 % und 20,1 % erreicht. Die niedrigsten Werte waren bei Monsun und Tybalt (je 15,8 %) sowie Piccolo (16,2 %) zu verzeichnen. Golia war mit 18,9 % nicht signifikant von den Sorten mit dem höchsten Rohproteingehalt in diesem Jahr verschieden. Thasos und Melissos zeigten Werte um 16,7 % und lagen damit unter dem

Sortenmittel. Beim Rohproteingehalt im Korn gab es zudem eine deutliche Interaktion zwischen den Sorten und Jahren. Während einige Sorten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Jahren zeigten (Monsun, Thasos, Triso) war bei Taifun, Golia und Gönen der Rohproteingehalt im Korn 2011 höher als 2010. Bei Melissos, Piccolo und Tybalt war jedoch das Gegenteil der Fall, sie bildeten 2011 geringere Rohproteingehalte aus als 2010.

N-Menge im Korn

Die N-Menge im Korn bezogen auf den Korn-Ertrag m^{-2} (Tab. 48) lag im Mittel über zwei Jahre und neun Sorten bei 9,8 g. 2010 wurde im Sortenmittel mit 10,3 g eine deutlich höhere N-Menge gefunden als 2011 (9,4 g). Im zweijährigen Mittel und auch in den einzelnen Jahren zeigte sich ein deutlicher Einfluss des Faktors Sorte. Piccolo erreichte im zweijährigen Mittel (11,9 g) deutlich die höchsten N-Mengen im Korn, gefolgt von Thasos, Monsun, Triso, Tybalt und Melissos, die alle von Piccolo nicht signifikant verschieden waren. Golia übertraf Taifun und Gönen, war aber von Gönen nicht signifikant verschieden.

Tab. 48: N-Menge im Korn [g m^{-2}] in den Feldversuchen 2010 und 2011

N-Menge im Korn [g m^{-2}]					
Sorte	2010	St.abw.	2011	St.abw.	MW
Taifun	8,42 c	2,09	8,68 ab	1,94	8,55 BC
Monsun	10,91 abc	1,03	10,37 a	1,85	10,64 AB
Melissos	10,18 abc	1,06	9,86 a	2,87	10,02 AB
Piccolo	12,26 a	1,47	11,55 a	1,34	11,90 A
Thasos	9,58 abc	0,53	11,81 a	2,28	10,69 AB
Triso	10,54 abc	1,44	10,21 a	2,82	10,37 AB
Tybalt	9,76 abc	0,74	10,36 a	1,98	10,06 AB
Golia	11,72 ab	0,99	7,06 ab	2,12	9,39 ABC*
Gönen	9,39 bc	1,05	4,47 b	0,16	6,93 C*
MW	10,31 α		9,37 β		9,84
GD	2,86		5,03		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

2010 wurden die höchsten N-Mengen im Korn bei Piccolo gefunden (12,3 g), die niedrigsten bei Taifun (8,4 g). Die weiteren mitteleuropäischen Sorten sowie Gönen lagen bei Werten um 10 g, während Golia mit 11,7 g fast das Niveau von Piccolo erreichte. 2011 wiesen Monsun, Melissos, Piccolo, Thasos, Triso und Tybalt mit N-Mengen zwischen 9,9 und 11,8 g die höchsten Werte auf. Der E-Weizen Taifun und die mediterrane Sorte Golia erreichten mittlere Werte. Gönen zeigte mit nur 4,5 g die signifikant niedrigsten Werte.

2010 war die Spannweite deutlich geringer als 2011 (3,8 g bzw. 7,1 g). Zudem gab es eine deutliche Interaktion zwischen Sorten und Jahren. Während die mitteleuropäischen Sorten in beiden Versuchsjahren ähnliche N-Mengen im Korn aufwiesen, waren die Werte bei den beiden mediterranen Sorten Golia und Gönen 2011 deutlich geringer als 2010. Bei der mitteleuropäischen Sorte Thasos wurde hingegen 2011 eine höhere N-Menge im Korn festgestellt, wobei dieser Unterschied aufgrund der höheren Standardabweichung 2011 nicht als signifikant bestätigt werden konnte.

Feuchtglutengehalt

Beim Feuchtglutengehalt (Tab. 49) wurden im Mittel über zwei Jahre und neun Sorten rund 40,8 % erreicht. In beiden Jahren und auch im Mittel der Jahre wurden deutliche Sortenunterschiede gefunden, wobei sich die Feuchtglutengehalte der Jahre signifikant unterscheiden. 2011 wurde mit 42,3 % ein deutlich höherer Feuchtglutengehalt erreicht als 2010 (39,3 %).

Im Mittel von zwei Jahren erreichte der E-Weizen Triso die höchsten Feuchtglutengehalte und übertraf dabei Tybalt, Piccolo, Thasos und Melissos nur knapp, Gönen, Taifun, Golia und Monsun dagegen deutlich. 2010 erreichten Melissos, Piccolo, Thasos, Triso, und Tybalt die signifikant höchsten Werte (41,9 % bis 40,2 %), gefolgt von Taifun und Gönen. Die niedrigsten Werte wiesen Monsun und Golia auf. 2011 sind nur Triso (48,1 %) und Monsun (38,2 %) signifikant voneinander verschieden. Die anderen 7 Sorten zeigten Werte zwischen 45,7 % und 39,2 %. Tendenziell erreichten alle Sorten außer Melissos 2011 höhere Feuchtglutengehalte, wobei diese Erhöhung nur bei Triso und Gönen signifikant war.

Tab. 49: Feuchtglutengehalt [%] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	Feuchtglutengehalt [%]				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	38,81 ab	2,26	39,21 ab	6,82	39,01 BC
Monzun	34,72 b	1,14	38,20 b	3,48	36,46 C
Melissos	41,57 a	2,89	40,59 ab	1,15	41,08 ABC
Piccolo	41,95 a	0,59	43,80 ab	1,93	42,88 AB
Thasos	41,19 a	1,39	43,75 ab	4,73	42,47 AB
Triso	42,60 a	3,91	48,09 a	1,69	45,35 A*
Tybalt	40,24 a	2,48	45,72 ab	4,94	42,98 AB
Golia	34,66 b	0,37	39,64 ab	1,07	37,15 C
Gönen	37,85 ab	1,56	41,28 ab	3,24	39,32 BC*
MW	39,29 β		42,25 α		40,76
GD	5,24		9,28		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

N-Gehalt im Stroh

Der N-Gehalt im Stroh betrug im Mittel der Jahre und Sorten 0,95 % (Tab. 50). 2010 wurde ein signifikant niedrigerer N-Gehalt im Stroh gefunden als 2011 (0,75 bzw. 1,16 %). Gönen erreichte im zweijährigen Mittel mit 1,32 % den höchsten N-Gehalt im Stroh, während die weiteren acht Sorten signifikant niedrigere Werte zeigten (0,82 bis 1,03 %) und nicht signifikant voneinander verschieden waren. 2010 gab es bei Werten zwischen 0,64 % und 0,81 % zwischen den Sorten keine signifikanten Unterschiede. 2011 wurden die höchsten Werte von Gönen erreicht (1,85 %), die niedrigsten von den zwei E-Weizen Taifun und Triso (0,83 bzw. 0,86 %). Bei diesen Sorten gab es im Gegensatz zu den anderen sieben Sorten im Versuch auch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Jahren. 2011 war mit 1,16 % im Sortenmittel ein deutlich höherer N-Gehalt im Stroh zu verzeichnen als 2010.

Tab. 50: N-Gehalt im Stroh [%] in den Feldversuchen 2010 und 2011

Sorte	N-Gehalt im Stroh [%]				MW
	2010	St.abw.	2011	St.abw.	
Taifun	0,84 a	0,09	0,86 cd	0,15	0,85 B
Monsun	0,69 a	0,07	1,08 bcd	0,12	0,88 B*
Melissos	0,81 a	0,12	1,25 bc	0,09	1,03 B*
Piccolo	0,68 a	0,12	0,97 cd	0,12	0,82 B*
Thasos	0,74 a	0,15	1,07 bcd	0,25	0,90 B*
Triso	0,80 a	0,14	0,83 d	0,07	0,82 B
Tybalt	0,80 a	0,26	1,15 bcd	0,27	0,97 B*
Golia	0,64 a	0,05	1,37 b	0,10	1,00 B*
Gönen	0,79 a	0,13	1,85 a	0,31	1,32 A*
MW	0,75 β		1,16 α		0,95
GD	0,35		0,06		

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede ($P \leq 0,05$): A-D Sortenunterschiede (Hauptwirkung) im Mittel von 2 Jahren; a-d Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α, β Jahresunterschiede gemittelt über die Sorten; * Jahresunterschiede innerhalb einer Sorte; MW=Mittelwert, St.abw.=Standardabweichung, GD=Grenzdifferenz im Tukey-Test (HSD, Honest Significant Difference)

Rangfolgen

Auf Grundlage der Ergebnisse von Korn-Ertrag, Biomasse, Ertragsstruktur sowie Rohproteingehalt der zwei Versuchsjahre wurde eine Rangfolge der Sorten ermittelt (Tab. 51). Den höchsten Rang erreichte dabei Piccolo gefolgt von Thasos und Monsun. Die Ränge 7 und 8 werden von Taifun bzw. Gönen belegt. Die mediterrane Sorte Golia erreicht zusammen mit Melissos Rang 5.

Bezüglich der Wassernutzung wird der erste Rang vom mitteleuropäischen A-Weizen Monsun erreicht, gefolgt von Tybalt und Piccolo (Tab. 52). Taifun und Gönen schneiden auch bei der Wassernutzung von den neun untersuchten Sorten am schlechtesten ab. Golia erreicht nur Rang 7.

Tab. 51: Rangfolge der Sorten in den Feldversuchen 2010 und 2011 basierend auf mittleren Rängen für Korn-Ertrag, Biomasse, Ertragsstruktur und Rohproteingehalt (Daten gepoolt über zwei Jahre)

Sorte	mittlerer Rang							Rang
	Ertrag	TM	Ä m ⁻²	Kö Ä	EKG	RP %	Gesamt	
Taifun	51	49	38	45	38	30	42	7
Monsun	18	30	43	25	25	62	34	3
Melissos	39	29	27	44	40	35	36	5
Piccolo	18	22	30	22	40	41	29	1
Thasos	33	30	32	24	43	38	33	2
Triso	41	41	24	52	41	14	35	4
Tybalt	33	37	40	36	28	46	37	6
Golia	39	35	47	37	26	35	36	5
Gönen	58	57	49	43	48	21	46	8

Ertrag=Korn-Ertrag [g m⁻²], TM=Biomasse [g m⁻²], Ä m⁻²=Ähren pro m², Kö Ä=Körner pro Ähre,
EKG=Einzelkorngewicht [mg], RP%=Rohproteingehalt im Korn [%]

Tab. 52: Rangfolge der Sorten in den Feldversuchen basierend auf mittleren Rängen für ETE, EI, WNE und WV (Daten gepoolt über zwei Jahre)

Sorte	mittlerer Rang					Rang
	ETE	EI	WNE	WV	Gesamt	
Taifun	45	40	47	38	43	8
Monsun	31	22	22	36	28	1
Melissos	32	43	40	40	39	6
Piccolo	30	30	19	47	31	3
Thasos	39	33	34	47	38	5
Triso	33	39	42	19	33	4
Tybalt	31	31	34	20	29	2
Golia	36	43	38	43	40	7
Gönen	53	50	54	38	49	9

ETE=Evapotranspirationseffizienz, EI=Ernte-Index, WNE=Wassernutzungseffizienz, WV=Wasserverbrauch

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

4.1 Gefäßversuche

Trotz leicht unterschiedlicher Versuchsbedingungen bezüglich Beginn, Intensität und Dauer der restriktiven Bewässerung war in den Gefäßversuchen die Sorte, und damit auch die Herkunft (mitteleuropäisch oder mediterran), Hauptursache für eine unterschiedliche Ausprägung der untersuchten Parameter.

Die Wassernutzungseffizienz in den durchgeführten Gefäßversuchen war in allen drei Versuchsjahren vor allem das Ergebnis sortentypischer Unterschiede, wobei sich eine stabile Sorten-Rangfolge ergab, mit deutlich höheren Wassernutzungseffizienzen bei den mitteleuropäischen Sorten (Taifun, Triso, Monsun, Naxos) als bei den mediterranen Sorten Golia und Gönen. Während Golia dabei fast das Niveau der mitteleuropäischen Sorten erreichte, schnitt Gönen deutlich schlechter ab. Ähnliche Ergebnisse fanden auch HERZOG et al. (2008) in einem Gefäßversuch mit vier der in den vorliegenden Untersuchungen verwendeten Sorten. Ursache der sortentypischen Unterschiede bei der WNE waren zum Einen die ebenfalls signifikant niedrigere ETE um $2,8 \text{ g L}^{-1}$ sowie der deutlich niedrigere Ernte-Index der mediterranen (0,42) im Vergleich zu den mitteleuropäischen Sorten ($3,3 \text{ g L}^{-1}$; 0,47). Die WNE war auch bei Wasserdefizit nach dem Ährenschieben weitgehend stabil und zeigte nur in einem von drei Jahren (2010) eine signifikante Erhöhung, bedingt durch eine durch das Wasserdefizit ebenfalls erhöhte ETE. Diese signifikant erhöhte ETE trat in zwei Jahren (2010, 2011) auf, bewirkte aber nur 2010 eine erhöhte WNE. IZANLOO et al. (2008) fanden für die WNE bei australischen Brotweizen ebenfalls signifikante Sortenunterschiede, signifikante Unterschiede zwischen restriktiver und optimaler Bewässerung traten allerdings auch hier nur unter starkem, nicht jedoch unter mildem Dürrestress auf. Bei Untersuchungen von CHEN et al. (2011) an Gerste zeigte sich unter Wasserdefizit ebenfalls eine Erhöhung der WNE. Die restriktive Bewässerung erfolgte bei CHEN et al. (2011) allerdings schon sehr früh in der Entwicklung zum Schossen (BBCH 31/32) und war auf nur 10 Tage begrenzt. Somit ist es dort vermutlich eher zu einer Härtung oder Gewöhnung an niedrigere Wassergehalte im Boden gekommen oder die Pflanzen wurden schon früh in ihrer Entwicklung zur verstärkten Bildung von Seitenwurzeln angeregt. Dies könnte dann zu einer besseren Wasseraneignung und infolgedessen zu einer höheren Biomasse und höheren WNE unter restriktiver Bewässerung geführt haben. Auch BIJANZADEH und EMAM (2012) fanden bei Weizen eine erhöhte WNE

unter Dürrestress im Vergleich zu 100 % Feldkapazität (FK), wobei ein starker Stress (50 % FK) die WNE mehr erhöhte als ein milder Stress (75 % FK). Die in der vorliegenden Untersuchung für die WNE ermittelten Werte waren im Vergleich mit denen von IZANLOO et al. (2008) deutlich geringer. Ursache dieser Unterschiede ist die Einbeziehung der unterirdischen Biomasse in die Berechnung der WNE bei IZANLOO et al. (2008), sodass dort eine insgesamt höhere Biomasse zum Gesamtwasserverbrauch ins Verhältnis gesetzt wurde als in vorliegenden Untersuchungen, in welcher die unterirdische Biomasse nicht berücksichtigt wurde. Zudem erfolgte die Berechnung der WNE in vorliegender Untersuchung aus der Multiplikation von ETE und EI, sodass sich die WNE hier auf den Korn-Ertrag bezieht, während sich die WNE bei IZANLOO et al. (2008) auf die Gesamt-Biomasse bezieht und somit eher vergleichbar mit der ETE in der vorliegenden Untersuchung ist. Der Einfluss der restriktiven Bewässerung auf die WNE war zwischen den Sorten sehr unterschiedlich. Während die WNE bei Taifun und Gönen nicht durch die Bewässerung beeinflusst wurde, reagierte Golia mit einer leicht bzw. signifikant erhöhten WNE auf das Wasserdefizit und auch Triso und Naxos zeigten 2010 eine ähnliche Reaktion. Auf das früher einsetzende, stärkere Wasserdefizit 2011 reagierte Triso jedoch mit einer reduzierten WNE. Bei Golia und Triso war die veränderte WNE vornehmlich auf die durch das Wasserdefizit ebenfalls erhöhte bzw. reduzierte ETE zurückzuführen, während die ETE bei Taifun und Gönen auch bei Wasserdefizit nach dem Ährenschieben stabil blieb. ETE und WNE erreichten bei Taifun und Golia in allen drei Versuchsjahren ähnliche sortentypische Werte. Die höhere N-Düngung 2011 hatte zwar eine gesteigerte Biomasse-Bildung bei den Weizenpflanzen zur Folge, parallel stieg aber auch der Wasserverbrauch, sodass das Verhältnis aus beiden Parametern, die ETE, weitgehend stabil blieb.

Die Sortenunterschiede beim Ernte-Index (EI) waren im Wesentlichen auf die Herkunft der untersuchten Sorten zurückzuführen. Aufgrund höherer Kornerträge infolge stärkerer züchterischer Bearbeitung erzielten die mitteleuropäischen Sorten auch beim EI, dem Verhältnis von Korn-Ertrag zu Biomasse, höhere Werte. HERZOG et. al (2008) kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Im Vergleich mit Untersuchungen von IZANLOO et al. (2008) zu Auswirkungen von mildem Dürrestress auf, unter anderem, den Ernte-Index von drei Brot-Weizen-Sorten aus Süd-Australien, erscheinen die ermittelten Werte jedoch recht hoch. Ursache für diese Unterschiede ist wiederum die Einbeziehung der unterirdischen Biomasse bei IZANLOO et al. (2008) in die Berechnung des EI. Für Gönen fanden AKDAMAR et al. (2002) im zweijährigen Mittel einen EI von $\sim 0,39$, was

den in den durchgeführten Versuchen erhaltenen Werten entspricht. Der EI wurde in zwei Jahren positiv und in einem Jahr negativ durch die restriktive Bewässerung beeinflusst, wobei die einzelnen Sorten sehr unterschiedliche Reaktionen zeigten. Während bei Taifun und Golia der EI in zwei von drei Jahren (2009, 2011) auch bei Wasserdefizit stabil blieb, wurde bei Triso und Gönen der EI 2011 durch den Dürrestress stark reduziert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei Triso und Gönen die Reduktion des Ertrages durch den früher eingeleiteten Dürrestress deutlich stärker war als die Reduktion der Biomasse, während bei Taifun und Golia Biomasse und Ertrag in ähnlichem Maße durch das Wasserdefizit reduziert wurden. REYNOLDS et al. (2007) fanden bei Weizen ebenfalls eine Reduktion des Ernte-Index unter Wasserdefizit. Auch RAJALA et al. (2011) beobachteten eine ähnliche Reaktion bei Gerste, wobei es keinen signifikanten Unterschied zwischen einem Dürrestress vor der Befruchtung und einem Dürrestress während der Kornfüllung gab. Interaktionen zwischen Sorte und Bewässerung beim EI fanden auch WELDEAREGAY et al. (2012) in einem Gefäßversuch mit Weizen. Bei einer der untersuchten Sorten wurde der Ernte-Index dabei unter dem Wasserdefizit zur Blüte reduziert, während eine andere Sorte diese Reaktion nicht zeigte (WELDEAREGAY et al., 2012).

Bei Zugrunde legen der WUE als Bewertungsmaßstab scheinen die untersuchten mitteleuropäischen Sorten insgesamt besser an eine begrenzte Wasserverfügbarkeit insbesondere nach dem Ährenschieben angepasst zu sein, als die mediterranen Sorten.

Biomassebildung und Korn-Ertrag zur physiologischen Reife waren in allen drei Versuchsjahren zum einen das Ergebnis sortentypischer Unterschiede mit stabiler Sortenrangfolge. Die mitteleuropäischen Sorten erzielten höhere Biomassen und Korn-Erträge als die mediterrane Sorte Gönen. Die zweite mediterrane Sorte Golia aus Italien erreichte wiederum höhere Werte als die türkische Sorte Gönen. Die 2011, im Vergleich zu den Vorjahren, höheren Biomassen, Korn-Erträge und Stroh-TM können im Wesentlichen auf die höhere N-Düngung in diesem Versuchsjahr zurückgeführt werden. 2010 und 2011 ergab sich zudem eine durch die restriktive Bewässerung hervorgerufene Reduktion von Trockenmasse, Korn-ertrag und Stroh-TM, sowie 2011 eine signifikante Interaktion von Sorte und Bewässerung. Dies bestätigt Ergebnisse von HERZOG et al. (2008a). Neben den genotypischen Unterschieden wurden Biomasse und Korn-Ertrag dort bei drei der untersuchten Genotypen (Monsun, Golia, Gönen) durch die restriktive Bewässerung zur Blüte reduziert. Auch RAJALA et al. (2009) fanden mit einer deutschen Sommerweizensorte bei Wasserdefizit vor der Blüte eine signifikante

Reduktion der Biomasse. Wasserdefizit während der Kornfüllung hatte bei RAJALA et al. (2009) jedoch keinen eindeutigen Einfluss mehr auf die Biomassebildung. Eine geringere Biomassebildung unter Defizitbewässerung beobachteten auch XU und YU (2006) bei zwei Winterweizen-Genotypen, signifikant war diese jedoch nur unter starkem Wasserdefizit.

Die bei Gönen im Vergleich zu den anderen untersuchten Sorten geringeren Werte von Biomassebildung, Korn-Ertrag und Stroh-TM sind mit dem eher kurzstrohigen Wuchs von Gönen zu erklären, die durch die bei Gönen höhere Seitentriebbildung nicht kompensiert werden konnte. Dies ist insofern von Bedeutung, als dass im Spross gespeicherte Assimilate, selbst in milden Klimaten, eine Kohlenstoff-Quelle für die Kornfüllung darstellen, die nicht nur wichtig, sondern, durch die zunehmende Seneszenz und damit verbundene Reduktion der assimilierenden grünen Blattfläche während der Kornfüllung, essentiell ist (BLUM, 1998). Die potentielle Speicherfähigkeit im Spross wird dabei unter anderem von der Sprosslänge bestimmt (BLUM, 1998). Weiterhin ist bekannt, dass eine reduzierte Pflanzenlänge zumeist von einem reduzierten Kornertrag begleitet wird (STOSKOPF, 1985 in: GÖTZ et al., 2008). Es ist daher zu vermuten, dass Gönen, aufgrund kürzerer Pflanzenlänge, geringere Reserven für die Kornfüllung zur Verfügung standen, was, verglichen mit mittel- oder langstrohigen Sorten, ein geringeres EKG und damit einen geringeren Kornertrag nach sich ziehen würde, wie es in vorliegenden Untersuchungen auch beobachtet wurde (Abb. 7, Tab. 27). Die ähnlichen SSI für Biomasse bei Taifun, Golia und Gönen deuten auf eine ähnliche geringe Empfindlichkeit der Biomassebildung gegenüber Wasserdefizit nach dem Ährenschieben hin, während Triso deutlich empfindlicher reagierte (Tab. 23). Beim Korn-Ertrag reagierten Triso und die türkische Sorte Gönen mit einem SSI über 1 überdurchschnittlich empfindlich auf das Wasserdefizit nach dem Ährenschieben, während Taifun und die mediterrane Sorte Golia mit Werten unter 1 eine deutlich unterdurchschnittliche Empfindlichkeit gegenüber einem Wasserdefizit nach dem Ährenschieben zeigten. Dabei spielte aber auch der Zeitpunkt des Auftretens des Wasserdefizites eine wichtige Rolle. Während die restriktive Bewässerung 2010 zum Beginn des Ährenschiebens (BBCH 51) eingeleitet wurde, wurde sie 2011 schon früher zu BBCH 47/49 (Öffnen der Blattscheide des Fahnenblattes) begonnen. Dieses früher einsetzende Wasserdefizit hatte bei Triso scheinbar eine stärkere Wirkung auf die Ertragsbildung als das etwas spätere Wasserdefizit 2010. Das 2011 bei allen Sorten niedrigere EKG im Vergleich zu 2009 und 2010 führte jedoch nicht zu geringeren

Korn-Erträgen, da die Anzahl Ähren im Vergleich zu den Vorjahren durch die höhere N-Düngung bei allen Sorten erhöht war, sodass die Korn-Erträge bei allen Sorten über denen der Vorjahre lagen.

Die erhöhte N-Düngung 2011 kam damit vor allem dem vegetativen Wachstum, besonders der Bildung von Seitentrieben zugute. So bildeten 2011 alle untersuchten Sorten doppelt so viele Ähren pro Pflanze aus, wie 2009 bzw. 2010. Unterschiedliche Ährenanzahlen innerhalb der Versuchsjahre waren vor allem auf sortentypische Unterschiede zurückzuführen, die jedoch nicht mit der Herkunft (mitteleuropäisch bzw. mediterran) begründet werden können. Die Anzahl Ähren war in zwei Jahren auch bei Wasserdefizit stabil, da in einem Jahr (2009) das Wasserdefizit vermutlich zu gering war bzw. zu spät auftrat (2010), um die Entwicklung dieses Parameters noch zu beeinflussen. Eine signifikante reduzierende Wirkung wurde 2011 nur bei Triso und Gönen beobachtet, die allerdings im Mittel über optimale und restriktive Bewässerung zur Reife trotzdem eine sortentypisch höhere Anzahl Ähren pro Pflanze aufwiesen als Golia und Taifun.

Bei der Kornzahl pro Ähre lagen die Sorten in allen drei Jahren im Mittel von optimaler und restriktiver Bewässerung auf ihrem sortenspezifischen Niveau. Sorten, welche niedrigere Ährenanzahlen aufwiesen (Taifun, Golia) erreichten wiederum bei der Kornzahl pro Ähre höhere Werte, als die Sorten Gönen oder Triso, die sich eher durch eine höhere Ährenanzahl auszeichneten. Während 2010 zwar keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten beobachtet wurden, waren die Kornzahlen bei Triso und Naxos jedoch durch das Wasserdefizit signifikant reduziert. Das früher einsetzende und stärkere Wasserdefizit 2011 traf dann alle Sorte gleichermaßen in der Phase der Entwicklung der Kornzahl und führte bei drei Sorten (Golia, Gönen, Triso) zu einer reduzierten Anzahl Körner pro Ähre, während Taifun hier scheinbar weniger empfindlich reagierte als die anderen geprüften Sorten. Eine stark reduzierte Kornzahl bei einem frühen Wasserdefizit vor dem Ährenschieben fanden auch RAJALA et al. (2011) bei Gerste.

Die geringeren EKG 2011 bei Taifun, Golia und Triso sind vermutlich auf die, durch die erhöhte N-Düngung verursachte, stärkere vegetative Entwicklung zurückzuführen. Bei deutlich mehr Ähren pro Pflanze, aber stabilen Kornzahlen pro Ähre gegenüber 2009 und 2010 wurde 2011 somit rund die doppelte Anzahl Körner pro Pflanze ausgebildet. Daraus ergab sich eine weitaus höhere Sink-Größe, welche zum Ende der Entwicklung in der Kornfüllungsphase mit Assimilaten versorgt werden musste.

Möglicherweise waren die Weizenpflanzen 2011 aber aufgrund beginnender Seneszenz nicht mehr in der Lage genügend Assimilate zu bilden, um bei allen gebildeten Körnern ein sortentypisches EKG auszubilden, sodass das EKG in diesem Jahr unter dem der Vorjahre blieb. Bei Gönen, mit sortentypisch sehr geringen EKG und damit geringerem Assimilatbedarf, trat dieser Effekt jedoch nicht auf, sodass sich hier ein ähnliches EKG wie 2009 ergab. Unabhängig vom Wasserangebot konnten die mediterranen Sorten Golia und Gönen ein sortentypisches EKG ausbilden. Während das EKG bei Gönen in vorliegenden Gefäßversuchen um 30 mg lag, fanden AKDAMAR et al. (2002) in Feldversuchen für Gönen ein EKG von im Mittel ~35 mg. Die an ein spätes, während der Kornfüllung auftretendes, Wasserdefizit gewöhnten mediterranen Sorten zeigten bezüglich des EKG keine Reaktion auf das Wasserdefizit. Taifun und Triso, die mitteleuropäischen Sorten, reagierten auf das frühere und stärkere Wasserdefizit 2011 deutlich empfindlicher als die mediterranen Sorten.

Eine mögliche Erklärung für das insgesamt kaum wirksame Wasserdefizit 2009 ist die Verwendung von Gefäßen mit einem doppelt so großen Bodenvolumen in vorliegender Untersuchung im Vergleich zu den bei HERZOG et al. (2008a) verwendeten Mitscherlich-Gefäßen, in denen ein Wasserdefizit schneller wirksam werden kann. 2009 wurde zudem nur ein milder Stress zur Blüte induziert. Die mittlere Differenz im Wassergehalt des Bodens betrug dabei zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung nur 6 %, während diese Differenz im Sortenmittel 2010 bei 9,7 % und 2011 bei 10,7 % lag. Der volumetrische Bodenwassergehalt wurde dabei in 10 – 20 cm Bodentiefe kontrolliert. Möglicherweise hatte die restriktive Bewässerung 2009 keine signifikante Wirkung auf die Pflanzen, da im unteren Bereich der Gefäße noch ausreichend Wasser vorhanden war und die Wurzeln auch in diesen Bereich vorgedrungen waren. Durch die unbeabsichtigt zu geringe Bewässerung im April 2009 durch den zeitweiligen technisch bedingten Ausfall der Messung der Bodenfeuchte, kann es aber auch zu einer unbeabsichtigten Härtung der Pflanzen gekommen sein. 2010 und 2011 konnte die Austrocknung durch den stärkeren Stress möglicherweise auch in tiefere Gefäßbereiche vordringen und stärkere Anspannungen in den Pflanzen verursachen.

In den durchgeführten Gefäß-Experimenten wurde nur zu Beginn der Stress-Phase die Bewässerung bei den Gefäßen der restriktiven Bewässerung für mindestens 3 Tage ausgesetzt, um den Wassergehalt in den Gefäßen auf die gewünschte Zielgröße absinken zu lassen. Nach Erreichen dieser Zielgröße wurden die Gefäße dann so

bewässert, dass die Zielgröße gehalten werden konnte. Die Gefäßoberfläche wurde somit während der gesamten Stress-Phase auch in der restriktiv bewässerten Variante immer wieder befeuchtet, was möglicherweise zu ständigen Stress-Erholungs-Zyklen für die Pflanzen geführt haben könnte. Während die Bewässerungsmengen der restriktiv bewässerten Variante zwar rechnerisch unter denen der optimalen bewässerten Variante lagen, waren die physiologischen Folgen möglicherweise aber andere, als bei einer längeren Phase ohne jegliche Bewässerung (BLUM, ohne Jahresangabe), wie dies während der Phase der Kornfüllung unter mediterranen Bedingungen der Fall ist.

Eine weitere Erklärung für die 2009 unter der restriktiven Bewässerung im Vergleich zur Kontrolle nicht signifikant reduzierte Biomasse bzw. Korn-Ertrag könnte eine unbeabsichtigte Härtung während der Bestockung sein, wie KANG et al. (2000) sie in einem Bewässerungsversuch für Mais fanden. KANG et al. fanden, dass ein mildes Wasserdefizit zum Schossen in Kombination mit einer niedrigen oder mittleren Defizit-Bewässerung bereits in der Sämlingsphase nur zu sehr geringen Ertragsreduktionen gegenüber der dauerhaften vollen Bewässerung führte. Hervorgerufen durch niedrige volumetrische Bodenwassergehalte (ca. halbe Feldkapazität) während der Bestockung, könnte auch 2009 eine solche Härtung eingetreten sein. Die niedrigen Wassergehalte waren wiederum eine Folge des Ausfalls des TDR-Messgerätes im April 2009 durch einen technischen Defekt, sodass für einige Tage keine Messungen durchgeführt werden konnten und die nötige Bewässerung somit abgeschätzt werden musste. Zudem traten in diesem Zeitraum überdurchschnittlich hohe Temperaturen und unterdurchschnittliche Niederschläge auf (Tab. A1), sodass es vermutlich aufgrund geringer Luftfeuchte zu einer stärkeren Evaporation von der Gefäßoberfläche gekommen ist, als dies sonst während der Bestockung der Fall wäre. Die Pflanzen wurden somit möglicherweise zu einer verstärkten Seitenwurzelbildung angeregt, um sich Wasser aus tieferen Bodenschichten anzueignen.

Für den Rohproteingehalt im Korn konnte eine deutliche Abhängigkeit von der Sorte und teilweise auch der Bewässerung gefunden werden. Die mediterranen Sorten Gönen und Golia erreichten höhere Rohproteingehalte im Korn als die untersuchten mitteleuropäischen Sorten. Bei Gönen sind die hohen Werte zum Teil auf die vergleichsweise niedrigen Korn-Erträge sowie EKG bei dieser Sorte und den einhergehenden Konzentrationseffekten zurückzuführen. Ein Einfluss der restriktiven Bewässerung war in allen drei Versuchsjahren zu finden und erhöhte die Rohproteingehalte 2011 bei allen Sorten, während dies 2010 nur bei Triso und Naxos

zutraf. 2009 wurde dagegen bei den mediterranen Sorten eine Senkung des Rohproteingehaltes unter dem Wasserdefizit beobachtet. Dieser geringere Rohproteingehalt kann erklärt werden mit der geringeren absoluten N-Menge in Verbindung mit einem Korn-Ertrag ähnlich dem der optimal bewässerten Variante. Die hohen Trockenmassen konnten erreicht werden, da die Stärke-Akkumulation kaum von dem N-Mangel, ausgelöst durch den milden Dürrestress, der auch während des Beginns der Kornfüllung noch anhielt, beeinflusst wurde (BARNEIX, 2006). Die N-Aufnahme bei Wasserdefizit zusammen mit der Remobilisierung aus dem Stroh konnte dann scheinbar den Bedarf der Körner nicht decken, weshalb es zum Verdünnungseffekt kam. Die bei Wasserdefizit erhöhten Rohproteingehalte 2011 waren wiederum die Folge eines Konzentrationseffektes. Bei gleicher N-Menge im Korn bei Taifun und Gönen, im Vergleich zur optimalen Bewässerung, war der Korn-Ertrag jedoch bei beiden Sorten signifikant reduziert. Bei Triso kam verstärkend hinzu, dass bei Wasserdefizit nicht nur der Korn-Ertrag signifikant reduziert war, sondern auch die N-Menge im Korn zur Reife. Auffällig waren die vergleichsweise niedrigen Rohproteingehalte bei Taifun und Triso (Elite-Weizen) sowie Monsun und Naxos (Aufmischweizen) unter 10 % im Mittel von optimaler und restriktiver Bewässerung. Werte über 10 % wurden nur 2010 und 2011 unter Wasserdefizit erreicht. Sie liegen damit unter den für E-Weizen bzw. A-Weizen vom Handel geforderten Grenzwerten von 13,4 % bzw. 12,7 % Rohprotein-Gehalt (RENTEL und MEYER, 2005). Eine Erklärung für diese geringen Gehalte könnten die für die Einzelpflanze sehr guten Entwicklungsbedingungen in den Gefäßen sein. So war das vegetative Wachstum in den Gefäßen, aufgrund geringerer interplantlicher Konkurrenz deutlich stärker als unter Feldbedingungen. Dies führte zu einer höheren Anzahl generativer Organe pro Pflanze als unter Feldbedingungen üblich. Während in den ebenfalls durchgeführten Feldversuchen die Ährenanzahl pro Pflanze deutlich unter zwei lag, lag sie in den Gefäßversuchen deutlich darüber. Somit ergab sich auch eine erhöhte Sink-Größe und es kam zu Verdünnungseffekten. Auch die erhöhte N-Gabe 2011 konnte dies nicht ausgleichen, da die Erhöhung der Gabe zum Ährenschieben von 120 mg auf 150 mg pro Gefäß nur gering war und die erhöhten N-Gaben zu früheren Zeitpunkten appliziert wurden und somit eher dem vegetativen Wachstum als dem Rohproteingehalt im Korn zugutekamen. Die Gabe zum Ährenschieben sollte nicht weiter erhöht werden, um eine zu starke Konzentration der Nährlösung zu vermeiden, welche möglicherweise toxische Wirkungen auf die Pflanzenwurzeln hätte haben können. Auch sollte die Menge der verabreichten Nährlösung von 200 ml pro Gefäß

nicht erhöht werden, da die Gefäße stets auf Feldkapazität bewässert wurden und größere Bewässerungsmengen nicht ohne große Mengen ungewollten Durchlauf verabreicht werden konnten.

Hinsichtlich der N-Menge im Korn wiesen die mediterranen Sorten signifikant niedrigere Werte auf als die mitteleuropäischen, wobei Golia gegenüber Gönen noch deutlich höhere Werte erreichte. GÖTZ et al. (2008) fanden für diese beiden Sorten ähnliche Werte, wobei Golia auch bei GÖTZ et al. deutlich höhere N-Mengen im Korn zeigte. Ursache dieser Sortenunterschiede ist zum einen die höhere N-Aufnahme bei den mitteleuropäischen Sorten, zum Anderen die stärkere Verlagerung in die Körner und die höhere Remobilisierung von N aus dem Stroh bei den mitteleuropäischen gegenüber den mediterranen Sorten. Dies wird beim Nitrogen Harvest Index (NHI) deutlich, der sich aus dem Verhältnis der N-Menge im Korn zur Gesamt-N-Aufnahme pro Pflanze berechnen lässt (MALIK und RENGEL, 2013). Für Taifun, Triso, Monsun und Naxos ergeben sich Werte um 80 %, während Gönen jeweils nur ca. 70 % des aufgenommenen Stickstoffs in die Körner verlagerte. Golia unterscheidet sich dabei allerdings deutlich von Gönen und erreicht im Mittel von drei Jahren wie die mitteleuropäischen Sorten ebenfalls einen NHI von 80 %. Auch KICHEV et al. (2007) fanden sortentypische Unterschiede in der Remobilisierung von N aus dem Stroh und der Verlagerung in die Körner.

Die Gesamt-N-Aufnahme pro Pflanze war bei den mitteleuropäischen Sorten höher als bei der mediterranen Sorte Gönen und wurde im Sortenmittel in zwei Jahren durch die restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben reduziert. Die N-Aufnahme bei Gönen scheint also auch unter optimaler Wasserversorgung limitiert zu sein. Die zweite mediterrane Sorte Golia erreichte hingegen in zwei Jahren das Niveau von Taifun, zweimal fast das Niveau von Triso und in einem Jahr zudem das Niveau von Naxos bezüglich der N-Aufnahme. Eine mögliche Erklärung könnte die stärkere züchterische Bearbeitung der Sorte Golia im Vergleich zu Gönen sein. Infolge der erhöhten N-Düngung 2011 war auch eine deutlich erhöhte N-Aufnahme bei allen untersuchten Sorten im Vergleich zu den Vorjahren 2009 und 2010 zu beobachten. Die verringerte N-Aufnahme unter restriktiver Bewässerung in zwei Jahren kann zum einen dadurch verursacht worden sein, dass der Stickstoff der dritten N-Gabe zu BBCH 51 bzw. 47/49 und damit zum Beginn der restriktiven Bewässerung durch das Wasserdefizit nicht in der Bodenlösung verfügbar war. Zum anderen war vermutlich durch das Wasserdefizit die Transpiration der Pflanzen eingeschränkt, sodass insgesamt eine niedrigere

Wasseraufnahme verbunden mit geringerer N-Aufnahme vorlag. Eine Erklärung für die 2011 unter Wasserdefizit bei drei Sorten leicht erhöhte N-Aufnahme könnte der frühere Beginn und kürzere Dauer der restriktiven Bewässerung im Vergleich zu 2009 und 2010 sein. Während in diesen beiden Versuchsjahren vom Ende der restriktiven Bewässerung bis zur Ernte zur Reife nur rund zwei Wochen vergingen, waren es aufgrund der kürzeren Dauer der Stress-Phase 2011 noch rund vier Wochen. Die Pflanzen zeigten zum Ende der restriktiven Bewässerung noch keine so starken Anzeichen von Seneszenz, sondern verfügten noch über einen großen Anteil grüner Blattmasse, welche noch photosynthetisch aktiv sein konnte. Zudem hatten sich die Pflanzen der restriktiv bewässerten Variante möglicherweise mit einer verstärkten Ausbildung des Wurzelsystems an das Wasserdefizit angepasst und konnten so nach dem Ende der restriktiven Bewässerung in der Bodenlösung vorhandenen Stickstoff besser aufnehmen.

Die Annahme, die Remobilisierung von N aus dem Stroh zur Einlagerung in die Körner, sei bei den mitteleuropäischen Sorten höher als bei den mediterranen, scheint nur im Vergleich mit Gönen bestätigt zu werden. Dafür sprechen die niedrigen N-Gehalte im Stroh zur Reife sowohl bei den mitteleuropäischen Sorten als auch bei Golia (0,34 % N), während Gönen mit 0,45 % (2009) bzw. 0,60 % (2011) deutlich mehr N im Stroh zurückbehielt. Wenn man sich allerdings die absoluten N-Mengen im Stroh anschaut, sind diese Sortenunterschiede nicht mehr so deutlich. So konnte nur 2011 für Gönen eine signifikant höhere N-Menge im Stroh nachgewiesen werden, während 2009 und 2010 keine signifikanten Unterschiede gefunden wurden. Die höheren N-Gehalte sind demnach nicht nur auf eine höhere N-Menge sondern vielmehr auf die bei Gönen im Vergleich zu den anderen Sorten deutlich geringere Stroh-TM zurückzuführen, aus der sich dann eine stärkere Konzentration des Stickstoffs im Stroh ergibt. Die restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben wirkte sich in zwei Jahren (2009, 2010) reduzierend und in einem Jahr (2011) steigernd auf die N-Mengen im Stroh aus, wobei sich 2009 und 2011 signifikante Wechselwirkungen mit den untersuchten Sorten zeigten, während 2010 alle Sorten mit einer leicht reduzierten N-Menge im Stroh auf das Wasserdefizit reagierten. Bei den dreijährig geprüften Sorten Taifun und Golia konnte in keinem der Jahre eine signifikante Reaktion auf das Wasserdefizit ermittelt werden, während bei Gönen 2009 N durch die begrenzte Wasserverfügbarkeit scheinbar stärker remobilisiert wurde, 2011 dagegen das Gegenteil der Fall war. Dieser Effekt der geringeren Remobilisierung von N aus dem Stroh und geringerer Verlagerung in die

Körner wurde 2011 bei Triso ebenfalls beobachtet. Bestätigt wird dies durch die bei Triso geringeren N-Mengen im Korn bei Wasserdefizit. So wurden hier nur rund 75 % des aufgenommenen N in die Körner verlagert, während der NHI bei optimaler Bewässerung bei Triso bei rund 83 % lag.

Im Rahmen der für die vorliegende Arbeit durchgeführten Gefäßversuche konnte herausgefunden werden, dass Korn-Ertrag und Biomassebildung wesentlich durch die Sorte bestimmt wurden und zudem sortenspezifisch durch ein Wasserdefizit nach dem Ährenschieben reduziert wurden. Das Ausmaß der Reduktion von Korn-Ertrag und Biomasse war dabei abhängig vom Zeitpunkt und der Intensität des Wasserdefizites. So hatte ein milder Dürrestress beginnend zum Ährenschieben (BBCH 51) keinerlei signifikante Auswirkungen, während ein stärkerer zum selben Zeitpunkt begonnener Wassermangel zu deutlichen Reduktionen von Korn-Ertrag und Biomasse führte. Ein schon früher eingeleitetes Wasserdefizit (zu BBCH 47/49) ähnlicher Stärke hatte jedoch ebenfalls eine Reduktion des Korn-Ertrag zur Folge, wobei das Ausmaß der Reduktion sortenspezifisch war. Die Biomasse wurde von dem früheren Wasserdefizit insgesamt nicht stärker beeinflusst, als von dem zu BBCH 51 eingeleitetem, wobei auch hier die Höhe der Reduktion von der Sorte bestimmt wurde. Die zwei mediterranen Sorten unterschieden sich bezüglich der Wassermangelempfindlichkeit von Biomasse und Ertrag nicht eindeutig von den mitteleuropäischen Sorten, blieben aber selbst bei optimaler Bewässerung im Korn-Ertrag hinter dem der mitteleuropäischen (außer Triso 2011) unter restriktiver Bewässerung zurück.

Die These von der Sortenspezifität der Evapotranspirationseffizienz (ETE) und Wassernutzungseffizienz (WNE) konnte im Gefäßversuch bestätigt werden. Zudem scheinen beide sowohl unter leichtem als auch unter stärkerem Wassermangel nach dem Ährenschieben stabil zu sein und könnten demnach als Züchtungsmerkmal für zukünftige Sorten genutzt werden. Allerdings traten in jeweils einem von drei Versuchsjahren auch signifikante Wechselwirkungen mit den Sorten auf. Insgesamt zeigten die untersuchten mitteleuropäischen Sorten eine höhere ETE und einen höheren EI und damit auch eine höhere WNE als die mediterranen. Legt man die WNE als Bewertungsmaßstab zugrunde, scheinen die mitteleuropäischen Sorten an eine begrenzte Wasserverfügbarkeit nach dem Ährenschieben besser angepasst zu sein als die mediterranen Sorten. Die engen positiven Korrelationen zwischen der WNE und ihren Komponenten ETE und EI sind ein Hinweis darauf, dass eine Verbesserung der WNE demzufolge sowohl über eine Verbesserung der ETE als auch des EI erreicht

werden kann. Dabei ist die Verbesserung der ETE jedoch vermutlich erfolgversprechender, da sie einen engeren Zusammenhang mit der WNE zeigt als der EI.

Bei der N-Verwertung konnte die Sortenspezifität im Gefäßversuch ebenfalls bestätigt werden. Die mediterranen Sorten erreichten zwar höhere Rohproteingehalte im Korn, die aber auf Konzentrationseffekte aufgrund niedrigerer Biomasse zurückzuführen sind, da Gesamt-N-Aufnahme und N-Menge im Korn bei den mitteleuropäischen Sorten höher waren. Aufgrund dessen sind die mediterranen Sorten den mitteleuropäischen Sorten bezüglich der N-Verwertung nicht überlegen. Das Wasserdefizit reduzierte die Gesamt-N-Aufnahme in die Pflanze zwar in zwei Jahren, jedoch bei den meisten Sorten nicht die im Korn enthaltenen N-Mengen und erhöhte den Rohproteingehalt nur aufgrund von Konzentrationseffekten. Lediglich die Sorte Triso erreichte unter Wasserdefizit in einem Jahr signifikant (2011) und in einem Jahr tendenziell (2010) nicht dieselbe N-Menge im Korn wie unter optimaler Bewässerung.

4.2 Feldversuche

Für den untersuchten Sommerweizen boten die Vegetationsperioden 2010 und 2011 sehr unterschiedliche Bedingungen für die Erzielung standorttypischer Erträge. Während das Jahr 2010 vor allem durch einen sehr feuchten, kühlen Mai und eine lang andauernde Sommertrockenheit (Juni und Juli) mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen geprägt war, kennzeichnete das Versuchsjahr 2011 eine für die Entwicklung von Getreide ungünstige trockene, warme Witterung von März bis Mitte Juni mit einem anschließenden sehr nassen, kühlen Juli (Tab. 11). Somit wurden in den zwei Versuchsjahren unterschiedliche Phasen der Entwicklung und Ertragsbildung des Sommerweizens von einem Dürrestress betroffen. 2010 waren aufgrund der Witterung vornehmlich Auswirkungen auf die Kornfüllung und damit das Einzelkorngewicht zu erwarten, während der Dürrestress 2011 hingegen schon früh in der Entwicklung des Sommerweizens eintrat und über längere Zeit anhielt, mit potentiellen Auswirkungen auf Bestockung und Kornzahl pro Ähre.

Der Agrarbericht des Landes Brandenburg gibt für 2010 bzw. 2011 durchschnittliche Korn-Erträge des Sommerweizens von 40,0 bzw. 35,2 dt ha⁻¹ an (MIL, 2012), die Anbaufläche für Sommerweizen (einschließlich Durum-Weizen) in Brandenburg betrug 2010 rund 4.300 ha, 2011 rund 5.500 ha (AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2011). Damit spielt der Anbau von Sommerweizen in Brandenburg weiterhin eine eher untergeordnete Rolle und gewinnt meist nur nach ungünstigen Witterungsbedingungen für die Aussaat des Wintergetreides im Herbst oder Auswinterungsverlusten an Bedeutung.

In den am Standort Berlin-Dahlem durchgeführten Feldversuchen war der Korn-Ertrag zur physiologischen Reife im Wesentlichen das Ergebnis sortentypischer Unterschiede, wobei die Korn-Erträge im Mittel der neun Sorten mit 324,9 g m⁻² (2010) bzw. 312,4 g m⁻² (2011) etwas unter den für den Standort üblichen lagen. Dies ist zum einen vermutlich darauf zurückzuführen, dass die im Agrarbericht angegebenen Korn-Erträge auf 86 % Trockensubstanz (TS) bezogen sind. Da aufgrund der Versuchsanstellung die Ernte zur physiologischen Reife in den durchgeführten Feldversuchen per Hand erfolgte, konnte die TS im Korn nicht bestimmt werden. Die Ganzpflanzen wurden geerntet, Ähren (inklusive Körner) und Stroh getrennt, im Trockenschrank getrocknet und dort bis zur Weiterverarbeitung zwischengelagert. Dies war nötig, da die Ernte, besonders 2011, witterungsbedingt teilweise unter sehr feuchten Bedingungen erfolgen

musste, um Kornverluste durch Überreife oder Auswuchs zu reduzieren. Zudem mussten die Ähren zum Dreschen im Ährendrescher trocken sein, um eine optimale Funktion des Gerätes zu gewährleisten. Aufgrund dieser Umstände ist für die Körner ein weitaus geringerer Feuchtegehalt als 14 % zu vermuten, was wiederum dazu führt, dass der Korn-Ertrag in vorliegender Untersuchung unterschätzt wird.

Zweitens können die Differenzen zu den im Agrarbericht genannten Korn-Erträgen auf das Sortiment der untersuchten Sorten zurückgeführt werden, welches neben sieben mitteleuropäischen Sommerweizensorten auch zwei mediterrane Sorten (Golia und Gönen) beinhaltete. Besonders Gönen blieb in beiden Jahren im Korn-Ertrag hinter den mitteleuropäischen Sorten zurück, während Golia unter den Bedingungen des Versuchsjahres 2010, nach Monsun, den zweithöchsten Korn-Ertrag ausbilden konnte. Zudem zeigten nur die beiden mediterranen Sorten Golia und Gönen 2011 um rund 50 % niedrigere Erträge als 2010, während die sieben mitteleuropäischen Sorten trotz unterschiedlicher Witterung ähnliche sortentypische Korn-Erträge von im Mittel 320 g m^{-2} (2010) bzw. 352 g m^{-2} (2011) erzielten und damit 2011 das Niveau der durchschnittlichen in Brandenburg bei Sommerweizen in diesen Jahren erzielten Korn-Erträge (vgl. S. 105) erreichten. Die mediterranen Sorten konnten scheinbar die Auswirkungen der Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit 2011 nicht in dem Maße kompensieren wie die mitteleuropäischen Sorten. Bei einem von ROß et al. (2012) in der Türkei 2010/2011 durchgeführten Anbauvergleich deutscher und türkischer Weizensorten erbrachten dagegen die deutschen Sorten Erträge, welche in der unbewässerten Variante 43 % unter denen der türkischen Sorten lagen. Auch EREKUL et al. (2009) fanden bei Versuchen in der West-Türkei für Golia und Gönen weitaus höhere Kornerträge von $5,7 \text{ t ha}^{-1}$ (Golia) bzw. $7,1 \text{ t ha}^{-1}$ (Gönen). Golia und Gönen werden hier als vielversprechende Sorten eingeschätzt, welche in zukünftigen Züchtungsprogrammen berücksichtigt werden sollten (EREKUL et al, 2009). In anderen Versuchen in der West-Türkei fanden EREKUL et al. (2012) für Golia in der Variante ohne Zusatzbewässerung Korn-Erträge um $3,1 \text{ t ha}^{-1}$, die dem Ertragsniveau von Golia am Standort Berlin-Dahlem entsprechen. Ergebnisse zum Anbau von mediterranen Sorten unter Feldbedingungen und mitteleuropäischem Klima fehlen, sodass ein direkter Vergleich nicht möglich ist. Aus dem Vergleich der Ergebnisse vom Standort Dahlem mit der Literatur kann man aber starke Interaktionen zwischen Sorte und Standort annehmen. Dies legen auch Ergebnisse von TAYYAR (2008) nahe, der für Gönen im Nordwesten der Türkei einen Ertrag von rund 450 g m^{-2} im Mittel von zwei

Jahren ermittelte. Dieser Korn-Ertrag ist doppelt so hoch wie der am Standort Dahlem für Gönen ermittelte Ertrag von rund 210 g m^{-2} (2-jähriges Mittel). Auch bei Ernte-Index und Tausend-Korn-Gewicht schneidet Gönen mit 42,5 % und 40,8 g unter türkischen Bedingungen (TAYYAR, 2008) deutlich besser ab als in Dahlem. Golia dagegen kann ihr hohes Ertragspotential (KORKMAZ et al., 2010) im Versuchsjahr 2010 auch am Standort Berlin-Dahlem ausschöpfen und erreicht mit rund 390 g m^{-2} das Ertrags-Niveau der untersuchten mitteleuropäischen Sorten. KORKMAZ et al. (2009) ermittelten für Golia unter türkischen Bedingungen einen ähnlichen Korn-Ertrag um $3,5 \text{ t ha}^{-1}$. In einem Versuchsjahr mit sehr geringen Niederschlägen während der gesamten Vegetationsperiode wurde dagegen nur ein Korn-Ertrag von $2,1 \text{ t ha}^{-1}$ erzielt (KORKMAZ et al., 2009). Dieses Ergebnis deckt sich mit dem Korn-Ertrag von Golia unter den eher trockenen Witterungsbedingungen von 2011, durch die Golia mit nur 215 g m^{-2} hinter den mitteleuropäischen Sorten zurück bleibt. In Versuchen von BAHAR et al. (2008) erzielte Golia in der Türkei dagegen einen Korn-Ertrag von $5,1 \text{ t ha}^{-1}$ und lag dabei, verglichen mit den anderen von BAHAR et al. untersuchten Sorten, auf einem eher niedrigen Niveau.

Auch sind die mediterranen Sorten zwar an Trockenperioden gewöhnt, treten diese aber unter mediterranen Bedingungen eher zum Ende der Vegetationsperiode auf (BLUM, 1998) wie es 2010 der Fall war und nicht wie 2011 schon ab Beginn der vegetativen Entwicklung anhaltend bis in die generative Phase. Die E-Weizen Taifun und Triso lagen in beiden Jahren hinsichtlich ihres Korn-Ertrages erwartungsgemäß etwas unter den untersuchten A-Weizen, wobei die Differenz zwischen den beiden Gruppen jedoch wesentlich geringer ist als beim Winterweizen (LELF, 2012). In der dreijährigen Prüfung (2009-2011) in den Landessortenversuchen Brandenburg erzielten Taifun und Triso Korn-Erträge um $4,4 \text{ t ha}^{-1}$ (LELF, 2012), die höher sind als die in den vorliegenden Feldversuchen ermittelten. Der Unterschied kann aber zum Teil mit den unterschiedlichen Kornfeuchten erklärt werden, die den Ertragsangaben der Landessortenversuche und der vorliegenden Versuchen zugrunde liegt (siehe oben). Auch Thasos, der dritte E-Weizen, lag 2010 im Korn-Ertrag niedriger als die untersuchten A-Weizen, erreichte 2011 jedoch mit dem A-Weizen Piccolo den höchsten Korn-Ertrag.

Während sich der Korn-Ertrag im Sortenmittel trotz sehr unterschiedlicher Witterung zwischen den Jahren nicht signifikant unterschied, ließen Biomasse und Stroh-Trockenmasse, neben den sortentypischen Unterschieden, einen sehr deutlichen Einfluss

der jahrestypischen Witterung erkennen und waren im Sortenmittel 2011 deutlich niedriger als 2010. Ursache dieses Unterschiedes ist vermutlich die lange Trockenheit zu Beginn der Vegetationsperiode, die besonders die vegetative Entwicklung der Weizenpflanzen negativ beeinflusste. Hinsichtlich der Biomasse-Produktion erreichte Piccolo mit 1058 g m^{-2} im zweijährigen Mittel die höchsten Werte, Gönen mit rund 665 g m^{-2} die niedrigsten. Damit blieb Gönen wieder hinter Ergebnissen aus der Türkei zurück. Bei einem Korn-Ertrag von rund 450 g m^{-2} und einem Ernte-Index von 42,5 % (TAYYAR, 2008) kann eine Biomasse von rund 1060 g m^{-2} angenommen werden, welche die von Gönen in Dahlem gebildete Biomasse um rund 60 % übersteigt. Golia erreichte 2010 am Standort Dahlem mit 1130 g m^{-2} gebildeter Biomasse ähnlich hohe Werte wie bei Versuchen von BAHAR et al. (2008) in der Türkei (rund 1280 g m^{-2}). Bei den Sorten Thasos und Tybalt gab es keinen Unterschied zwischen den Versuchsjahren. Da bei den mitteleuropäischen Sorten schon festgestellt wurde, dass es beim Korn-Ertrag keinen Unterschied zwischen den Versuchsjahren gab, sind die Jahresunterschiede in der Biomasse im Wesentlichen eine Folge der geringeren Bildung von Stroh-Trockenmasse infolge der Witterung 2011. Piccolo erzielte in einem von WRAGGE und ELLMER am Standort Dahlem durchgeführten Versuch einen Korn-Ertrag von rund 37 dt ha^{-1} und einen Stroh-Ertrag von rund 55 dt ha^{-1} (WRAGGE und ELLMER, 2007). Dies ergibt eine Biomasse von rund 92 dt ha^{-1} , die mit der Biomasse der mitteleuropäischen Sorten im zweijährigen Mittel in vorliegenden Versuchen ($\sim 937 \text{ g m}^{-2}$) vergleichbar ist.

Obwohl die Witterungsbedingungen im Frühjahr 2010, mit den milden Temperaturen im April und den durch die Niederschläge im März idealen Bodenfeuchten, optimale Keimungsbedingungen für den Sommerweizen boten (AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2011), lag die Anzahl Pflanzen pro m^2 mit 292 deutlich unter der, bei einer Aussaatdichte von 400 keimfähigen Körner pro m^2 , zu erwartenden Anzahl Pflanzen. Der Feldaufgang lag also bei nur rund 73 %. 2011 mit seinem niederschlagsarmen März und April bot weit schlechtere Bedingungen für die Keimung und Entwicklung der Keimlinge. Trotzdem wurde 2011 mit 353 Pflanzen pro m^2 ein deutlich höherer Feldaufgang von rund 88 % im Sortenmittel erreicht. Eine Erklärung dafür könnte sein, dass die 2011 gedrillten Körner, aufgrund sehr geringer Einzelkorngewichte, möglicherweise einen geringeren Keimwasserbedarf hatten. Die geringen Einzelkorngewichte kamen wiederum dadurch zustande, dass das von den Züchtern zur Verfügung gestellte Saatgut aus der Ernte 2010 mit der Dürre-Phase zur Kornfüllung stammte, während die im Versuch 2010 gedrillten Körner über ihr

sortentypisches Einzelkorngewicht verfügten. Neben dem Einfluss des Versuchsjahres ließ die Anzahl Pflanzen pro m^2 einen deutlichen Einfluss der Sorte erkennen. Der E-Weizen Thasos wies dabei zusammen mit der türkischen Sorte Gönen im zweijährigen Mittel die höchsten Werte auf, während bei Piccolo und Golia die geringste Anzahl Pflanzen gezählt wurde. Es ist aber möglich, dass bei der Zählung der jungen Weizenpflanzen, insbesondere bei Sorten mit starker Bestockung wie z.B. Gönen, Fehler auftraten, da diese Aufgabe zum Teil von Studenten übernommen wurde, welche in dieser Tätigkeit nicht geübt waren.

Die niedrigere Anzahl Pflanzen pro m^2 wurde 2010 dann jedoch durch andere Parameter der Ertragsstruktur kompensiert. So wurden 2010 mit 1,85 Ähren pro Pflanze deutlich mehr Ähren pro Pflanze gebildet als 2011 (1,4 Ähren pro Pflanze), was zu einer deutlich höheren Bestandesdichte von 527 Ähren pro m^2 führte, während 2011 nur 361 Ähren pro m^2 gebildet wurden. Die geringere Pflanzendichte 2010 führte vermutlich zu einer geringeren intraspezifischen Konkurrenz innerhalb des Bestandes. Nährstoffe und Wasser waren für die einzelne Pflanze somit besser verfügbar und auch die Lichtinterzeption der Einzelpflanze war 2010 vermutlich besser. Dies bedeutete bessere Wachstums- und Entwicklungsbedingungen für die Einzelpflanze verbunden mit einer höheren Anzahl Ähren pro Pflanze resultierend in einer um 25 % höheren Biomasse und um 35 % höheren Strohproduktion als 2011. Auch die kühle, feuchte Witterung im Mai 2010 hat vermutlich zu der starken vegetativen Entwicklung beigetragen. Nachdem 2011 schon März und April trockener und wärmer waren als im langjährigen Mittel, setzte sich dieser Trend bis Mitte Juni 2011 fort und führte vermutlich zu starken Konkurrenzsituationen innerhalb des Bestandes. Für die Einzelpflanze standen Wasser und Nährstoffe in diesem Jahr nur eingeschränkt zur Verfügung, was zu einer geringeren Anzahl Seitentriebe und damit Ähren pro Pflanze als 2010 führte und in deutlich geringeren Biomassen und Stroh-Erträgen resultierte. Triso bildete in zwei Jahren die meisten Ähren pro m^2 aus. Dies deckt sich mit den Angaben in der Beschreibenden Sortenliste des Bundesortenamtes (BUNDESSORTENAMT, 2010), in der Triso bei der Bestandesdichte mit Note 7 (hoch) bewertet wird. Die niedrigsten Ährenanzahlen pro m^2 wurden im zweijährigen Mittel von den mediterranen Sorten Golia und Gönen erreicht (385 bzw. 373 Ähren pro m^2 im 2-jährigen Mittel). Bei BAHAR et al. (2008) war Golia dagegen unter türkischen Bedingungen bei einer Aussaatdichte von 450 Körnern pro m^2 die Sorte mit der höchsten Bestandesdichte (670 Ähren pro m^2) und auch bei EREKUL et al. (2012) erzielte Golia eine deutlich höhere

Bestandesdichte um 560 Ähren m^{-2} , allerdings bei einer deutlichen höheren Aussaatdichte als in vorliegender Untersuchung (500 Körnern pro m^2). Die geringe Bestandesdichte 2011 bei Gönen ist ein weiterer Hinweis darauf, dass bei der Bestimmung der Pflanzenzahl in diesem Jahr Fehler aufgetreten sein müssen (siehe oben), da es unwahrscheinlich ist, dass bei 399 Pflanzen pro m^2 zum Beginn der Vegetationsphase ein Verlust von über 100 Pflanzen während der Vegetation aufgetreten ist, sodass sich am Ende eine Bestandesdichte von 295 Ähren pro m^2 ergab. In der Landessortenprüfung 2010 – 2012 erreichte Triso im Mittel eine Bestandesdichte um 600 Ähren pro m^2 , die nur leicht über der für Triso in den vorliegenden Versuchen ermittelten liegt. Für Taifun wird eine mittlere Bestandesdichte um 475 Ähren pro m^2 angegeben, die ebenfalls die in vorliegender Untersuchung ermittelten Werte nur leicht übersteigt (LELF, 2013)).

Die bis Mitte Juni anhaltende trockene und warme Witterung führte 2011, neben der niedrigen Bestandesdichte, zudem zu einer reduzierten Kornzahl pro Ähre von rund 22,4 im Sortenmittel, während 2010 trotz des niederschlagsarmen und heißen Juni 29,2 Körner pro Ähre gezählt wurden. Der Sommerweizen konnte dabei 2010 von den reichlichen Mai-Niederschlägen profitieren, die auch Anfang Juni noch Bodenfeuchten um 20 % [V/V] (vgl. Abb. 4) in den Bodenschichten von 20 – 40 cm sicherten. Die Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit 2011 wirkte sich besonders stark bei den mediterranen Sorten aus, sodass die Kornzahl pro Ähre bei ihnen unter 20 blieb und sie damit nur die Hälfte der Kornzahl des Vorjahres 2010 erreichten. Bei EREKUL et al. (2012) wurden von Golia ohne Zusatzbewässerung ebenfalls nur rund 16,8 Körner pro Ähre ausgebildet und selbst mit Zusatzbewässerung wurden nur maximal 25,1 Körner pro Ähre erreicht. Damit ist die von Golia 2010 am Standort Berlin-Dahlem erreichte Kornzahl von rund 33,6 als hoch einzuschätzen. Eine Erklärung könnte wiederum der feuchte, kühle Mai 2010 sein, welcher auch für die mediterranen Sorten optimale Entwicklungsbedingungen bot und sich scheinbar positiv auf die Zellteilung auswirkte. Bei den mitteleuropäischen Sorten zeigten nur Monsun und Tybalt eine signifikant reduzierte Kornzahl im Vergleich zu 2010, während die übrigen Sorten deutlich weniger empfindlich reagierten. Die von Taifun und Triso in vorliegenden Versuchen erzielten Kornzahlen pro Ähre entsprechen denen, die für diese beiden Sorten in den Landessortenversuchen ermittelt wurden (LELF, 2013). Eine, wie bei Golia und Gönen, um mehr als die Hälfte reduzierte Kornzahl pro Ähre bei einem frühen Wasserdefizit (vor dem Ährenschieben), wie es 2011 auftrat, konnten auch RAJALA et al. (2011) bei

Gerste nachweisen, während ein spätes Wasserdefizit, wie im Versuchsjahr 2010, einen sehr viel geringeren Effekt auf die Kornzahl hatte, sondern vielmehr das EKG stark reduzierte.

Das Einzelkorngewicht wurde 2010 maßgeblich durch die ab Mitte Juni vorherrschende Trockenheit und Hitze beeinflusst, welche den Sommerweizen in der Kornfüllungsphase traf. Am Standort Berlin-Dahlem fielen im gesamten Juni 2010 nur 2 mm Niederschlag bei einer monatlichen Durchschnittstemperatur von 19,0 °C, während im langjährigen Mittel bei durchschnittlich 16,9 °C rund 66 mm Niederschlag beobachtet wurden. In der Folge lag das Einzelkorngewicht 2010 bei nur 21,6 mg (Sortenmittel), während 2011 ab Mitte Juni eher feuchtere und kühlere Witterung vorherrschte und so im Sortenmittel ein deutlich höheres Einzelkorngewicht von 38,2 mg erzielt werden konnte. Die 2010 aufgrund der Witterung stark reduzierten EKG finden sich auch in den Landessortenversuchen wieder (LELF, 2013). Signifikante Unterschiede zwischen den Sorten zeigten sich beim Einzelkorngewicht sowohl in den einzelnen Versuchsjahren, als auch im zweijährigen Mittel. Alle Sorten reagierten 2010 mit stark einem reduzierten EKG auf die Trockenheit zur Kornfüllung im Juni. Golia und Monsun erreichten 2010 mit Werten um 26 mg noch die höchsten Einzelkorngewichte, während Melissos, Thasos und Triso nur ein EKG um 18,5 mg erzielten. 2011 bildete dagegen Tybalt mit 46,7 mg die schwersten Körner aus. Bei Versuchen von EREKUL et al. (2012) erreichte Golia ein TKG von 34,2 g, was dem zweijährigen Mittel von Golia in vorliegender Untersuchung entspricht. In den Landessortenversuchen 2010 – 2012 erreichten Taifun und Triso bei 86 % TS Tausendkornmassen um 41 g (Taifun) bzw. 36 g (Triso). Die niedrigeren Werte in vorliegender Untersuchung kommen wiederum dadurch zustande, dass die Körner aufgrund der Ernte per Hand in den Ähren im Trockenschrank getrocknet werden mussten.

Die geringen Einzelkorngewichte in Verbindung mit höheren N-Mengen im Korn zogen 2010, vermutlich aufgrund von Konzentrationseffekten, hohe Rohproteingehalte von 18,2 % im Korn im Sortenmittel nach sich. Die hohen N-Mengen im Korn können mit den idealen Bedingungen für die N-Aufnahme und der resultierenden hohen Biomasse-Produktion im Frühjahr 2010 erklärt werden. Aus dieser höheren Biomasse konnte dann Stickstoff zur Verlagerung ins Korn remobilisiert werden, als im Juni, aufgrund der, durch die geringen Niederschläge, niedrigen Bodenwassergehalte eine N-Aufnahme aus dem Boden nur eingeschränkt möglich war. 2011 ergab sich ein etwas niedrigerer

Rohproteingehalt von 17,6 %, da aufgrund der, durch das hohe Wasserangebot im Juli 2011, deutlich größeren Körner der Stickstoff im Korn geringer konzentriert war. Die N-Menge im Korn ist 2011 niedriger, da bis zur Blüte Anfang Juni die Niederschläge deutlich unter dem langjährigen Mittel lagen und die Nährstoff-Aufnahme aus dem Boden in der Hauptaufnahmezeit somit vermutlich eingeschränkt war. Dies konnte auch nicht mehr durch die 3. N-Gabe zum Ährenschieben ausgeglichen werden. Zusätzlich war die Wirksamkeit dieser als Blattdüngung ausgebrachten 3. N-Gabe vermutlich eingeschränkt, da abends nach der Ausbringung Gewitter mit Regenfällen auftraten, durch welche die Düngung möglicherweise von den Blättern gewaschen wurde, bevor sie von den Pflanzen aufgenommen werden konnte. Daneben gab es deutliche Sortenunterschiede, wobei die E-Weizen Taifun und Triso, sowie die mediterrane Sorte Gönen die höchsten Werte erreichten. Auch in den Landessortenversuchen erzielte Triso zumeist einen höheren Rohproteingehalt im Korn, wie es in vorliegender Untersuchung gefunden wurde (LELF, 2013). Triso und Taifun sind als E-Weizen Ergebnis der Züchtung auf einen höheren Rohproteingehalt, wobei der Weg zu diesem bei den beiden Sorten scheinbar unterschiedlich ist. Eine höhere N-Menge im Korn bei Triso, der auch bei begrenztem N-Angebot eine hohe Aufnahme und Biomassebildung hat, während bei Taifun eine geringere N-Menge im Korn in Verbindung mit einem geringeren Korn-Ertrag als bei Triso wieder zu einer stärkeren Konzentration des Stickstoffs im Korn führt. Derselbe Effekt findet sich auch bei Gönen. Da diese Werte auch unter den für die N-Aufnahme optimalen Bedingungen im Frühjahr 2010 bei Taifun und Gönen geringer sind als bei den weiteren untersuchten Sorten, kann vermutet werden, dass die N-Aufnahme möglicherweise sortentypisch geringer ist.

Die N-Menge im Korn war bei allen sieben untersuchten mitteleuropäischen Sorten zwischen den Jahren nicht signifikant verschieden, während die mediterranen Sorten 2011 deutlich geringere N-Mengen im Korn zeigten. Zwar ist die N-Aufnahme nicht begrenzend für die N-Menge im Korn, aber man kann vermuten, dass im trockenen Frühjahr 2011 die Aufnahme von Stickstoff aus dem Boden in die Pflanze etwas vermindert war im Vergleich zum Frühjahr 2010.

Die N-Gehalte im Stroh liegen 2011 mit 1,16 % im Sortenmittel deutlich höher als 2010 (0,75 %), wobei jedoch im Gegensatz zu 2010 auch deutliche Sortenunterschiede zu finden waren. So wiesen die mediterranen Sorten deutlich höhere Werte auf als die mitteleuropäischen. Dies stimmt für Gönen überein mit den Ergebnissen der parallel durchgeführten Gefäßversuche (vgl. Tab. 32), während sich Golia in den

Gefäßversuchen beim N-Gehalt im Stroh eher wie die mitteleuropäischen Sorten verhielt. Insgesamt sind die N-Gehalte im Stroh in den Feldversuchen eher als hoch anzusehen, normal sind 0,4 – 0,6 % (vgl. auch Gefäßversuche Tab. 32).

Der Feuchtglutengehalt war im Wesentlichen das Ergebnis sortentypischer Unterschiede. Der signifikant höhere Feuchtglutengehalt im Sortenmittel 2011 ergibt sich daraus, dass fast alle untersuchten Sorten in diesem Jahr einen tendenziell höheren Gehalt aufwiesen, Gönen und Triso einen signifikant höheren. Der Feuchtglutengehalt, den Golia am Standort Berlin-Dahlem erreichte liegt mit rund 37 % etwas höher als bei Versuchen von EREKUL et al. (2012) in der Türkei (~ 34 %). Die von den mitteleuropäischen Sorten in vorliegender Untersuchung erreichten Feuchtglutengehalte (40,8 % im Mittel von Sorten und Jahren) stimmen überein mit denen von vier Winterweizensorten im Trockenjahr 2003 in Versuchen von EREKUL et al. (2006) an zwei Standorten in Brandenburg. Im feuchteren Jahr 2004 lagen die Feuchtglutengehalte bei EREKUL et al. (2006) dann allerdings auf einem deutlich niedrigeren Niveau um 30 %. Die, im Vergleich zum Winterweizen, bei den untersuchten Sommerweizen höheren Feuchtglutengehalte können auch eine Folge des geringeren Ertragsniveaus der Sommerweizen und der damit verbundenen Konzentrationseffekte für Stickstoff und damit Eiweiß im Korn sein.

Die Wassernutzungseffizienz in den durchgeführten Feldversuchen zeigte sowohl im zweijährigen Mittel als auch in den einzelnen Versuchsjahren deutliche Sortenunterschiede und unterschied sich zudem im Sortenmittel zwischen den Jahren. Die Wassernutzungseffizienz scheint also unter Feldbedingungen deutlich durch die Witterung beeinflusst zu werden, wobei es allerdings deutliche Interaktionen mit den Sorten gab. Während die meisten mitteleuropäischen Sorten, außer Monsun und Piccolo, 2010 und 2011 eine ähnliche WNE erzielten, war die WNE bei den zwei mediterranen Sorten Golia und Gönen 2011 im Vergleich zu 2010 stark reduziert. Diese niedrigere WNE bei Golia und Gönen ist im Wesentlichen auf die ebenfalls stark reduzierte Evapotranspirationseffizienz (ETE) zurückzuführen. Deren niedrigere Werte sind wiederum eine Folge von geringerer Biomassebildung aufgrund der für Golia und Gönen ungünstigen Witterung 2011 während der vegetativen Phase und gleichzeitig höherem Wasserverbrauch 2011 gegenüber 2010. Monsun, Piccolo und Golia konnten 2010, unter der zur Kornfüllung auftretenden Trockenheit, eine WNE über $1 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ erzielen, während die anderen untersuchten Sorten niedrigere Werte um $0,87 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ erreichten. Eine Erklärung dafür ist die gegenüber den anderen Sorten ebenfalls deutlich

höhere ETE über $4 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ bei Monsun, Piccolo und Golia. Auch Melissos erreichte 2010 mit $4,54 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ eine ähnlich hohe ETE, wies dabei aber einen vergleichsweise niedrigen Korn-Ertrag und damit niedrigen Ernte-Index auf und bleibt damit in der WNE hinter Monsun, Piccolo und Golia zurück. AL-THABET (2006) fand bei Feldversuchen mit Weizen eine auf den Korn-Ertrag bezogene WNE um $0,66 \text{ kg m}^{-3}$, welche etwas unter den in vorliegender Untersuchung ermittelten Werten von 0,99 (2010) bzw. $0,70 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ (2011) liegt. Die höheren Werte in vorliegender Untersuchung ergeben sich bei ähnlichem Ernte-Index aus der deutlich höheren ETE von $3,33 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ im Mittel von Sorten und Jahren und im Vergleich zu AL-THABET (2006) mit Werten um $1,81 \text{ kg m}^{-3}$. REYNOLDS et al. (2007) fanden in einem Sortiment mexikanischer Landrassen bei Weizen eine mittlere WNE von $3,15 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$, die damit auf einem ähnlichen Niveau liegt wie die in den vorliegenden Versuchen ermittelte ETE von $3,33 \text{ g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$ und dieser auch eher entspricht, da die WNE bei REYNOLDS et al. (2007) auf die Biomasse bezogen ist und nicht auf den Korn-Ertrag.

Im Sortenranking, in welches die Ergebnisse der Merkmale Ertrag, Biomasse, Ähren pro m^2 , Körner pro Ähre, EKG und Rohprotein-Gehalt im Korn in zwei Jahren eingingen, erzielte Piccolo den höchsten Rang, gefolgt von Thasos und Monsun. Diese drei Sorten konnten sowohl die der Sommertrockenheit 2010 als auch die Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit des Jahres 2011 kompensieren.

Die mediterranen Sorten produzierten unter mitteleuropäischen Verhältnissen in Berlin-Dahlem keine höheren Erträge als die untersuchten mitteleuropäischen, was auch in den durchgeführten Gefäßversuchen bestätigt wurde. Zwar erreichte Golia bei Dürre zur Kornfüllung (2010) das Ertragsniveau der besten mitteleuropäischen Sorte in diesem Versuchsjahr (Monsun). Unter den Bedingungen des Jahres 2011 mit der für Brandenburg typischen Frühjahrs- und Vorsommertrockenheit blieben beide mediterranen Sorten jedoch deutlich hinter den mitteleuropäischen Sorten zurück. Die mitteleuropäischen Sorten zeigten sich hinsichtlich ihres Korn-Ertrages trotz sehr unterschiedlicher Witterungsbedingungen recht stabil. Sie scheinen bereits gut an zukünftige Klimabedingungen angepasst, während der Einsatz der mediterranen Sorten in der Züchtung auf verbesserte Korn-Erträge bei Trockenheit eher fraglich erscheint.

Bei relevanten Qualitätsmerkmalen wie Rohproteingehalt im Korn und Feuchtglutengehalt unterschieden sich die mediterranen Sorten nicht eindeutig von den mitteleuropäischen. Die mediterranen Sorten, besonders Gönen, wiesen geringere N-Mengen im Korn auf und der etwas höhere Rohproteingehalt bei Gönen war eher auf

Konzentrationseffekte aufgrund eines sortentypisch sehr geringen EKG zurückzuführen ist. Diese Ergebnisse wurden so auch in den Gefäßversuchen gefunden. Auch aus dem Blickwinkel der Qualität sind die mitteleuropäischen Sorten den mediterranen demzufolge überlegen, sodass auch hier ein Einsatz der mediterranen Sorten in der Züchtung nicht empfohlen werden kann.

5. Literaturverzeichnis

ACEVEDO, E., SILVA, P., SILVA, H., 2002: Wheat growth and physiology. in: Bread Wheat – Improvement and Production, FAO Plant production and Protection Series No. 30, Rom

AKDAMAR, M., TAYYAR, Ş., GÖKKUS, A., 2002: Effects of different sowing times on yield and yield-related traits in bread wheat grown in Çanakkale. Akdeniz Üniversitesi Zırrat Fakültesi Dergisi, 2002, **15** (2), 81 – 87

ALBRECHT, M., PFLEGER, I., NUBBAUM, G., 2003: Standpunkt zur Bewässerung in Landwirtschaft und Gartenbau unter besonderer Berücksichtigung Thüringer Produktionsbedingungen. 2. Auflage, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft

ALTINTAŞ, S., TOKLU, F., KAFKAS, S., KILIAN, B., BRANDOLINI, A., ÖZKAN, H., 2008: Estimating genetic diversity in durum and bread wheat cultivars from turkey using AFLP and SAMPL Markers. Plant Breeding **127**, 9 – 14

AL-THABET, S.S., 2006: Promotive Effect of 5-amino Levulinic Acid on Growth and Yield of Wheat Grown under Dry Conditions. Journal of Agronomy **5** (1), 45 – 49

AMT FÜR STATISTIK BERLIN-BRANDENBURG, 2011: Statistischer Bericht C II 7 – j / 11 Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung im Land Brandenburg 2011. abgerufen am 09.09.2013 unter: https://www.statistik-berlin-brandenburg.de/Publikationen/Stat_Berichte/2012/SB_C02-07-00_2011j01_BB.pdf

ANYIA, A. O., SLASKI, J. J., NYACHIRO, J. M., ARCHAMBAULT, D. J., JUSKIW, P., 2007: Relationship of Carbon Isotope Discrimination to Water Use Efficiency and Productivity of Barley under Field and Greenhouse Conditions. Journal of Agronomy and Crop Science **193**, 313 – 323

BACON, M. A., 2004: Water use efficiency in plant biology. Water use efficiency in plant Biology

BAHAR, B., YILDIRIM, M., BARUTCULAR, C., GENÇ, I., 2008: Effect of Canopy Temperature Depression on Grain Yield and Yield Components in Bread and Durum Wheat. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* **36**, 1, 34 – 37

BALOGH, M. J., DUNWELL, J., DENNET, M., ZIA-UL-HASSAN, RAJPUR, I., JATOI, W. A., VEESAR, N. F., 2012: Evaluating spring wheat cultivars for drought tolerance through yield and physiological parameters at booting and anthesis. *African Journal of Biotechnology* **11**, 53, 11559 – 11565

BARNABÁS, B., JÄGER, K., FEHÉR, A., 2008: The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell and Environment* **31**, 11 – 38

BARNEIX, A. J., 2006: Physiology and biochemistry of source-regulated protein accumulation in the wheat grain. *Journal of Plant Physiology* **164**, 581 – 590

BECKER, H., 2011: Pflanzenzüchtung. 2., überarbeitete Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

BIJANZADEH, E. UND EMAM, Y., 2012: Evaluation of assimilate remobilization and yield of wheat cultivars under different irrigation regimes in an arid climate. *Archives of Agronomy and Soil Science* **58**, 11, 1243 – 1259

BLUM, A., 1998: Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica* **100**, 77 – 83

BLUM, A., 2005: Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential – are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? *Australian Journal of Agricultural Research* **56**, 1159 – 1168

BLUM, A., 2011: Drought resistance – is it really a complex trait? *Functional Plant Biology*, **38**, 753–757

BORGHI, B., PERENZIN, M., 1994: Diallel analysis to predict heterosis and combining ability for grain yield, yield components and bread-making quality in bread wheat (*T. aestivum*). Theoretical and Applied Genetics **89**, 975 – 981

BORGHI, B., CORBELLINI, M., MINOIA, C., PALUMBO, M., DI FONZO, N., PERENZIN, M., 1997: Effects of Mediterranean climate on wheat bread-making quality. European Journal of Agronomy **6**, 145 – 154

BOYER, J. S. UND WESTGATE, M. E., 2004: Grain yields with limited water. Journal of Experimental Botany **55**, 407, Water-Saving Agricultural Special Issue, 2385 – 2394

BRUECK, H., 2008: Effects of nitrogen supply on water-use efficiency of higher plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science **171**, 210 – 219

BRUECK, H., SENBAYRAM, M., 2009: Low nitrogen supply decreases water-use efficiency of oriental tobacco. Journal of Plant Nutrition and Soil Science **172**, 216 – 223

BUNDESSORTENAMT, 2009: Beschreibende Sortenliste 2009; Getreide, Mais, Ölf Früchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln)

BUNDESSORTENAMT, 2010: Beschreibende Sortenliste 2010; Getreide, Mais, Ölf Früchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln)

CAYCI, G., HENG, L. K., ÖZTÜRK, H. S., SÜREK, D., KÜTÜRK, C., SAĞLAM, M., 2009: Crop yield and water use efficiency in semi-arid region of Turkey. Soil & Tillage Research **103**, 65 – 72

CHEN, J., CHANG, S. X., ANYIA, A. O., 2011: The Physiology and Stability of Leaf Carbon Isotope Discrimination as a Measure of Water-Use Efficiency in Barley on the Canadian Prairies. Journal of Agronomy and Crop Science **197**, 1-11

CHMIELEWSKI, F.-M., 2011: Wasserbedarf in der Landwirtschaft. Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?, 3. Auflage, S. 149 – 156

CONDON, A. G., RICHARDS, R. A., REBETZKE, G. J., FARQUHAR, G.D., 2002: Improving Intrinsic Water-Use Efficiency and Crop Yield. *Crop Science* **42**, 122 – 131

CONDON, A. G., RICHARDS, R. A., REBETZKE, G. J., FARQUHAR, G. D., 2004: Breeding for high water-use efficiency. *Journal of Experimental Botany* **55**, 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, 2447 – 2460

CONNOR, D. J., LOOMIS, R. S., CASSMAN, K. G., 2011: *Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems*. Second Edition, Cambridge University Press

CORBELLINI, M., PERENZIN, M., ACCERBI, M., VACCINO, P., BORGHI, B., 2002: Genetic diversity in bread wheat, as revealed by coefficient of parentage and molecular markers, and its relationship to hybrid performance. *Euphytica* **123**: 273–285

COSSANI, C. M., SLAFER, G. A., SAVIN, R., 2009: Yield and biomass in wheat and barley under a range of conditions in a Mediterranean site. *Field Crops Research* **112**, 205 – 213

DIE LANDWIRTSCHAFT, 2006: *Pflanzliche Erzeugung*. 12., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, BLV Buchverlag GmbH Co. KG, München

DIEPENBROCK, W., ELLMER, F., LÉON, J., 2005: *Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung – Grundwissen Bachelor*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, S. 176 – 183

DENČIĆ, S., KASTORI, R., KOBILJSKI, B., DUGGAN, B., 2000: Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* **113**, 43 – 52

DODIG, D., ZORIĆ, M., KANDIĆ, V., PEROVIĆ, D., ŠURLAN-MOMIROVIĆ, G., 2012: Comparison of responses to drought stress of 100 wheat accessions and landraces to identify opportunities for improving wheat drought resistance. *Plant Breeding* **131**, 369 – 379

EREKUL, O. und KÖHN, W., 2006: Effect of Weather and Soil Conditions on Yield Components and Bread-Making Quality of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Winter Triticale (*Triticosecale* Wittm.) Varieties in North-East Germany. *Journal of Agronomy and Crop Science* **192**, 452—464

EREKUL, O., KAUTZ, T., ELLMER, F., TURGUT, I., 2009: Yield and bread-making quality of different wheat genotypes grown in Western Turkey. *Archives of Agronomy and Soil Science*, **55**, 2, 169 – 182

EREKUL, O., GÖTZ, K.-P., GURBUZ, T., 2012: Effect of supplemental irrigation on yield and bread-making quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties under the Mediterranean climatical conditions. *Turkish Journal of Field Crops* **17**, 1, 78 – 86

FAO, 2010: AQUASTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, abgerufen am 09.09.2013 unter:

http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm

FAO, 2013: FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, abgerufen am 09.09.2013 unter: <http://faostat.fao.org/>

FAROOQ, M., WAHID, A., KOBAYASHI, N., FUJITA, D., BASRA, S. M. A., 2009: Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* **29**, 185 – 212

FISHER, R. A., und MAURER, R., 1978: Drought Resistance in Spring Wheat Cultivars. I Grain Yield Responses. *Australian Journal of Agricultural Research* **29**, 897 – 912

FLEURY, D., JEFFERIES, S., KUCHEL, H., LANGRIDGE, P., 2010: Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of Experimental Botany*, **61**, 12, 3211 – 3222

FOULKES, M.J., SYLVESTER-BRADLEY, R., WEIGHTMAN, R., SNAPE, J.W., 2007: Identifying physiological traits associated with improved drought resistance in winter wheat. *Field Crops Research*, **103**, 11–24.

- GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON, 2013: Definition „Knappes Gut“ abgerufen am 29.08.2013 unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/11011/knappes-gut-v8.html>
- GAO, Y., DUAN, A., SUN, J., LI, F., LIU, Z., LIU, H., LIU, ZH., 2009: Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research* **111**, 65 – 73
- GERSTENGARBE, F.-W., BADECK, F., HATTERMANN, F., KRYSANOVA, V., LAHMER, W., LASCH, P., STOCK, M., SUCKOW, F., WECHSUNG, F., WERNER, P. C., 2003: Studie zur klimatischen Entwicklung im Land Brandenburg bis 2055 und deren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt, die Forst- und Landwirtschaft sowie die Ableitung erster Perspektiven. Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, PIK-Report No. 83
- GEVREK, M. N. und ATASOY, G. D., 2012: Effect of post anthesis drought on certain agronomic characteristics of wheat under two different nitrogen application conditions. *Turkish Journal of Field Crops* **17**, 1, 19 – 23
- GRABE, M., HERZOG, H., GÖTZ, K.-P., 2008: Wirkung von N-Spätdüngung und Wasserangebot auf den Ertrag und die Qualität von Sommerweizen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Band 20) und Vorträge für Pflanzenzüchtung (Heft 77)*, S. 47 – 48
- GREGORY, P. J., 2004: Agronomic approaches to increasing water use efficiency. in: BACON, M. A.: *Water Use Efficiency in Plant Biology*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 142 – 170
- GÖTZ, K.-P., HERZOG, H., EREKUL, O., 2008: Effects of N-application on utilization of ¹⁵N and ¹³C and quality in two wheat cultivars. *Isotopes in Environmental and Health Studies* **44**, 209 – 217
- HERZOG, H., 2003: Strategien gegen Wassermangel im Pflanzenbau. *Pflanzenbauwissenschaften*, **7**, 2, 75 – 81

HERZOG, H., GRABE, M., GÖTZ, K.-P., 2008a: Wirkung von Wasserangebot und N-Spät-Düngung auf die Wassernutzungseffizienz und den Ertrag von Weizengenotypen. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Band 20) und Vorträge für Pflanzenzüchtung (Heft 77), S. 45 – 46

HISDAL, H., STAHL, K., TALLAKSEN, L. M., DEMUTH, S., 2001: Have Streamflow Droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology* **21**, 317 – 333

HRSTKOVÁ, P., HOLKOVÁ, L., HRONKOVÁ, M., VLASÁKOVÁ, E., CHLOUPEK, O., 2010: Comparison of different approaches for the evaluation of response of winter wheat to drought. In: 61. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg – Gumpenstein. S. 141 – 146

ILKER, E., GEREN, H., ÜNSAL, R., SEVİM, I., AYKUT TONK, F., TOSUN, M., 2011: AMMI-Biplot Analysis of yield performance of bread wheat cultivars grown at different locations. *Turkish Journal of Field Crops* **16**, 1, 64-68

IZANLOO, A., CONDON, A., LANGRIDGE, P., TESTER, M., SCHNURBUSCH, T., 2008: Different mechanisms of adaption to cyclic water stress in two South Australian bread wheat cultivars. *Journal of Experimental Botany* **59**, 12, 3327 – 3346

JACOBSEN, S.-E., JENSEN, C. R., LIU, F., 2013: Improving Crop Productivity in the Arid Mediterranean Climate. in: RENGEL, Z., 2013: Improving Water and Nutrient-Use Efficiency in Food Production Systems. Wiley-Blackwell Publishing, 187 – 209

JONES, H., 2004: What is water use efficiency? in: Bacon, M. A.: Water Use Efficiency in Plant Biology. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 27 – 41

KANG, S., SHI, W., ZHANG, J., 2000: An improved water-use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research* **67**, 207 – 214

KICHEY, T., HIREL, B., HEUMEZ, E., DUBOIS, F., LE GOUIS, J., 2007: In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Research* **102**, 1, 22 – 32

KORKMAZ, K., IBRIKCI, H., KARNEZ, E., BUYUK, G., RYAN, J., ULGER, A. C., OGUZ, H., 2009: Phosphorous Use Efficiency of Wheat genotypes grown in Calcareous Soils. *Journal of Plant Nutrition* **32**, 12, 2094 – 2106

KORKMAZ, K., IBRIKCI, H., KARNEZ, E., BUYUK, G., RYAN, J., OGUZ, H., ULGER, A. C., 2010: Responses of wheat genotypes to phosphorus fertilization under rainfed conditions in the Mediterranean region of Turkey. *Scientific Research and Essays* **5**, 16, 2304 – 2311

KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., RUBEL, F., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* **15**, 3, 259 – 263

LELF, 2013: Landessortenprüfung Sommerweizen 2010 – 2012, Anbaugebiet D-Standorte. abgerufen am 26.08.2013 unter:
http://www.isip.de/isip/servlet/page/deutschland/regionales/brandenburg/fachinfo_landwirtschaft/ergebnisse_landessortenpruefungen

LELF, 2012: Sortenratgeber 2012 Sommergetreide. Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Frankfurt (Oder) abgerufen am 09.09.2013 unter:
http://lelf.brandenburg.de/media_fast/4055/Endfassung%20SR-Sommergetreide_2012.pdf

LEVITT, J., 1972: Responses of Plants to Environmental Stresses. Academic Press, New York, USA

LEVITT, J., 1980: Responses of Plants to Environmental Stresses. Volume 2: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. 2. Auflage, Academic Press, New York, USA

LGF, 2013a: Standort Dahlem. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, abgerufen am 09.09.2013 unter: <http://www.agrar.hu-berlin.de/fakultaet/einrichtungen/freiland/dahlem/standardseite>

LGF, 2013b: Bodenprofil am Standort Berlin-Dahlem. Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, abgerufen am 09.09.2013 unter: <http://www.agrar.hu-berlin.de/fakultaet/einrichtungen/freiland/dahlem/profil-dahlem.pdf>

LGF, 2013c: Wetterbeobachtungen. FG Acker- und Pflanzenbau, Professur für Agrarklimatologie, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin, abgerufen am 09.09.2013 unter: <http://www.agrar.hu-berlin.de/fakultaet/departments/dntw/agrarmet/service/wb>

LOOMIS, R. S. und CONNOR, D. J., 1992: Crop ecology: Productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press

MACHOLDT, J., 2012: Zur Sortenbewertung von Winterroggen und Winterweizen unter Standortbedingungen im nordostdeutschen Tiefland. Berlin: Dissertation, S. 22 – 27

MALIK, A. I. und RENGEL, Z., 2013: Physiology of Nitrogen-Use efficiency. in: RENGEL, Z., 2013: Improving Water and Nutrient-Use Efficiency in Food Production Systems. Wiley-Blackwell Publishing, 105 – 121

MANDAL, K. G., HATI, K. M., MISRA, A. K., BANDYOPADHYAY, K. K., MOHANTY, M., 2005: Irrigation and Nutrient Effects on Growth and Water – Yield Relationship of Wheat (*Triticum aestivum* L.) in Central India. *Journal of Agronomy & Crop Science* **191**, 416 – 425

MARSH, T.J., 2004: The UK drought of 2003: A hydrological review. *Weather* **59**, 8, 224 – 230

MARSH, T.J., COLE, G., WILBY, R., 2007: Major droughts in England and Wales, 1800 – 2006. *Weather* **62**, 4, 87 – 93

MCKERSIE, B. D., LESHEM, Y. Y., 1994: Stress and Stress Coping in Cultivated Plants. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Niederlande

MERCHUK, L., SARANGA, Y., 2004: Breeding Approaches to Increasing Water-Use Efficiency. in: RENGEL, Z., 2013: Improving Water and Nutrient-Use Efficiency in Food Production Systems. Wiley-Blackwell Publishing, 145 – 160

MICHEL, V. und ZENK, A., 2010: Eignung von Winterweizensorten unter speziellen Anbaubedingungen und Einführung neuer Parameter zur Bewertung von Sorten unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. Landesanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Acker- und Pflanzenbau. Gülzow. S. 2 – 22

MISRA, S. C., SHINDE, S., GEERTS, S., RAO, V. S., MONNEVEUX, P., 2010: Can carbon isotope discrimination and ash content predict grain yield and water use efficiency in wheat? *Agricultural Water Management* **97**, 57 – 65

MIL, 2012: Agrarbericht 2011/2012 Sonderausgabe 2012. Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft des Landes Brandenburg, Potsdam abgerufen am 09.09.2013 unter: http://www.mil.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.3310.de/WEB-Version_Agrarbericht%202011-2012-komprimiert.pdf

MONNEVEUX, P., JING, R., MISRA, S.C., 2012: Phenotyping for drought adaption in wheat using physiological traits. *Frontiers in Physiology*, Volume 3, Article 429

PAUK, J., MIHALY, R., LANTOS, C., FLAMM, C., TEIZER, B., ZECHNER, E., LIVAJA, M., SCHMOLKE, M., CSEUZ, L., RUTHNER, S., 2010: Wheat under environmental stress: experiments with 25 elite genotypes within the CORNET network. In: 61. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg – Gumpenstein. S. 135 – 139

PASSIOURA, J., 2004: Water use efficiency in the farmers' fields. in: Bacon, M. A.: *Water Use Efficiency in Plant Biology*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK, 302 – 321

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A., 2007: Updated world map of the Köppen-Geiger climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633 – 1644

RAJALA, A., HAKALA, K., MÄKELÄ, P., MUURINEN, S., PELTONEN-SAINIO, P., 2009: Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research* **114**, 263 – 271

RAJALA, A., HAKALA, K., MÄKELÄ, P., PELTONEN-SAINIO, P., 2011: Drought Effect on Grain Number and Grain Weight at Spike and Spikelet Level in Six-Row Spring Barley. *Journal of Agronomy and Crop Science* **197**, 103 – 112

REYNOLDS, M., DRECCER, F., TRETHOWAN, R., 2007: Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany* 58, 2, 177 – 186

ROSE, T., UND BOWDEN, B., 2013: Matching Soil Nutrient Supply and Crop Demand during the Growing Season. in: RENGEL, Z., 2013: Improving Water and Nutrient-Use Efficiency in Food Production Systems. Wiley-Blackwell Publishing, 93 – 103

ROß, C.-L., EREKUL, O., ELLMER, F., 2012: Anbauvergleich von deutschen und türkischen Winterweizensorten unter den Standortbedingungen der Ege-Region (Türkei). *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Band 24)*, S. 287 – 288

SAVIN, R. UND SLAFER, G. A., 1991: Shading effects on the yield of an Argentinian wheat cultivar. *Journal of Agricultural Science* **116**, 1 – 7

SCHALLER, M., und WEIGEL, H.-J., 2007: Analyse des Sachstandes zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Bundesanstalt für Landwirtschaft (FAL) Braunschweig, Agricultural Research Special Issue 316

SCHNITTENHELM, S., KRAFT, M., WITTICH, K.-P., 2011: Ertragsphysiologische Untersuchungen zur Trockentoleranz bei Getreide. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften (Band 23), S. 195

SCHWEITZER, K., 2008: Standortcharakteristik Standort Dahlem. Lehr- und Forschungsstation der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät, AG Freiland, Humboldt-Universität zu Berlin abgerufen am 09.09.2013 unter: <http://www.agrar.hu-berlin.de/fakultaet/einrichtungen/freiland/dahlem/standort-dahlem.pdf>

SHEWRY, P.R., 2009: Wheat. *Journal of Experimental Botany* **60**, 6, 1537 – 1553

TAIZ, L., ZEIGER, E., 1999: Physiologie der Pflanzen. 1. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg

TAYYAR, S., 2008: Grain yield and agronomic characteristics of Romanian bread wheat varieties under the conditions of Northwestern Turkey. *African Journal of Biotechnology* **7**, 10, 1479 – 1486

TRIBOI, E., TRIBOI-BLONDEL, A. M., 2002: Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem—invited paper. *European Journal of Agronomy* **16**, 163 – 186

TURNER, N.C., 2001: Optimizing water use. In: Crop science: progress and prospects. Papers presented at the Third International Crop Science Congress, Hamburg, Germany, 17. -22. August 2000

VALLIYODAN, B. und NGUYEN, H. T., 2006: Understanding regulatory network and engineering for enhanced drought tolerance in plants. *Current Opinion in Plant Biology* **9**, 1 – 7

WEGEHENKEL, M., 2013: Water resources and Global Change. in: RENGEL, Z., 2013: Improving Water and Nutrient-Use Efficiency in Food Production Systems. Wiley-Blackwell Publishing, 21 – 31

WELDEAREGAY, D. F., YAN, F., JIANG, D., LIU, F., 2012: Independent and Combined Effects of Soil Warming and Drought Stress during Anthesis on Seed Set and Grain Yield in Two Spring Wheat Varieties. *Journal of Agronomy and Crop Science* **198**, 4, 245 – 253

WRAGGE, V. und ELLMER, F., 2007: Rückstände aus der Biogaserzeugung als Düngemittel bei Sommerweizen. *Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften* 19, 206 – 207

XU, ZHEN-ZHU, YU, ZHEN-WEN, 2006: Nitrogen metabolism in flag leaf and grain of wheat in response to irrigation regimes. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **169**, 118 – 126

YILDIZ, M. und TERZI, H., 2008: Small heat shock protein responses in leaf tissues of wheat cultivars with different heat susceptibility. *Biologia* **63**, 4, 521—525,

6. Anhang

Verzeichnis der Abbildungen im Anhang

Abb. A 1: Versuchsplan Gefäßversuche 2009, 2010 (5 Wdh.) bzw. 2011 (6 Wdh.).....	129
Abb. A 2: Wassergehalt des Bodens in den Gefäßversuchen 2009 – 2011 in 10 – 20 cm Tiefe der jeweils untersuchten Sorten von der Aussaat bis zum Beginn der restriktiven Bewässerung (BRB) bei der ersten Sorte (in allen Jahren: Taifun).....	130
Abb. A 3: Wassergehalt des Bodens im Gefäßversuch 2009 in 10 – 20 cm Tiefe der Sorten Taifun, Golia, Gönen und Monsun während der Phase der restriktiven Bewässerung.....	131
Abb. A 4: Wassergehalt des Bodens im Gefäßversuch 2010 in 10 – 20 cm Tiefe der Sorten Taifun, Golia, Triso und Naxos während der Phase der restriktiven Bewässerung.....	132
Abb. A 5: Wassergehalt des Bodens im Gefäßversuch 2011 in 10 – 20 cm Tiefe der Sorten Taifun, Golia, Gönen und Triso während der Phase der restriktiven Bewässerung.....	133
Abb. A 6: Versuchsplan Feldversuch 2010	141
Abb. A 7: Versuchsplan Feldversuch 2011	142

Verzeichnis der Tabellen im Anhang

Tab. A 1:	monatliche Mittel der Lufttemperatur (T_{mit}) und Monatsmittel der Niederschlagshöhen (NS) im Versuchsjahr 2009 (Gefäßversuch) sowie langjährige Mittel am Standort Dahlem (Bezugszeitraum 1971-2000).....	134
Tab. A 2:	Wasserzugabe und Wasseraufnahme des lufttrockenen Bodens in [mL] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	134
Tab. A 3:	Biomasse [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	135
Tab. A 4:	Korn-Ertrag [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	136
Tab. A 5:	TM Stroh [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	137
Tab. A 6:	Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen Biomasse, Korn-Ertrag, Stroh-Ertrag und den Parametern der Ertragsstruktur in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011	138
Tab. A 7:	Wasserverbrauch der untersuchten Sorten in den Intervallen A – BRB, BRB – ERB, ERB – Reife und gesamt im Jahr 2009 in L pro Pflanze	138
Tab. A 8:	Wasserverbrauch der untersuchten Sorten in den Intervallen A – BRB, BRB – ERB, ERB – Reife und gesamt im Jahr 2010 in L pro Pflanze	139
Tab. A 9:	Wasserverbrauch der untersuchten Sorten in den Intervallen A – BRB, BRB – ERB, ERB – Reife und gesamt im Jahr 2011 in L pro Pflanze	140

I	11	24
	14	23
	12	22
	13	21
II	23	12
	22	13
	21	14
	24	11
III	12	23
	11	24
	14	21
	13	22
IV	24	12
	22	14
	23	11
	21	13
V	14	23
	11	21
	13	22
	12	24
VI	21	11
	23	12
	24	14
	22	13

Abb. A 1: Versuchsplan Gefäßversuche 2009, 2010 (5 Wdh.) bzw. 2011 (6 Wdh.)

I-VI: Block (Wiederholung); Bewässerung: 1x=optimale Bewässerung (ww) bzw. 2x=restriktive Bewässerung (wd);

Sorten: x1, x2, x3, x4 = Sorte 1, 2, 3, 4

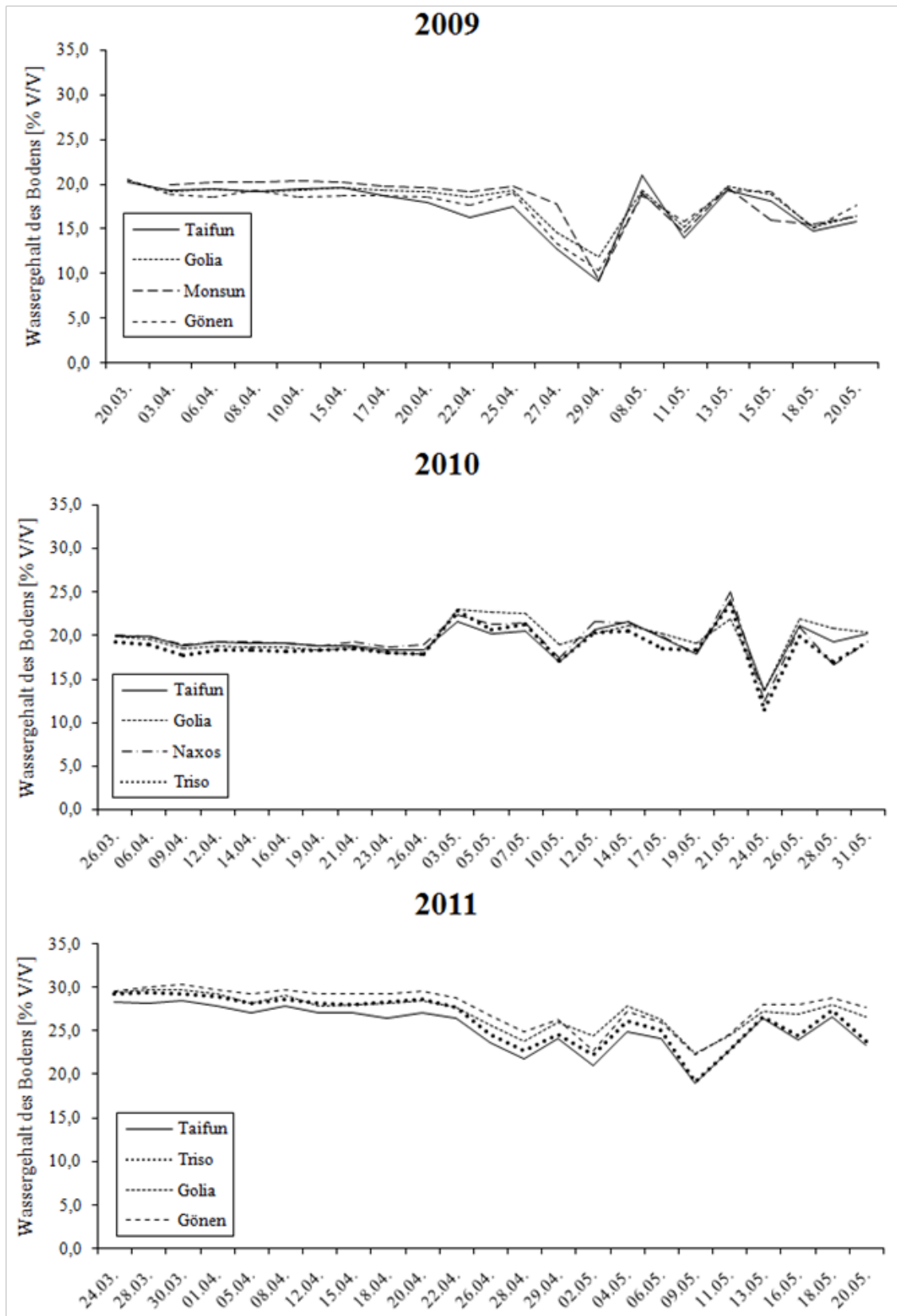


Abb. A 2: Wassergehalt des Bodens in den Gefäßversuchen 2009 – 2011 in 10 – 20 cm Tiefe der jeweils untersuchten Sorten von der Aussaat bis zum Beginn der restriktiven Bewässerung (BRB) bei der ersten Sorte (in allen Jahren: Taifun)

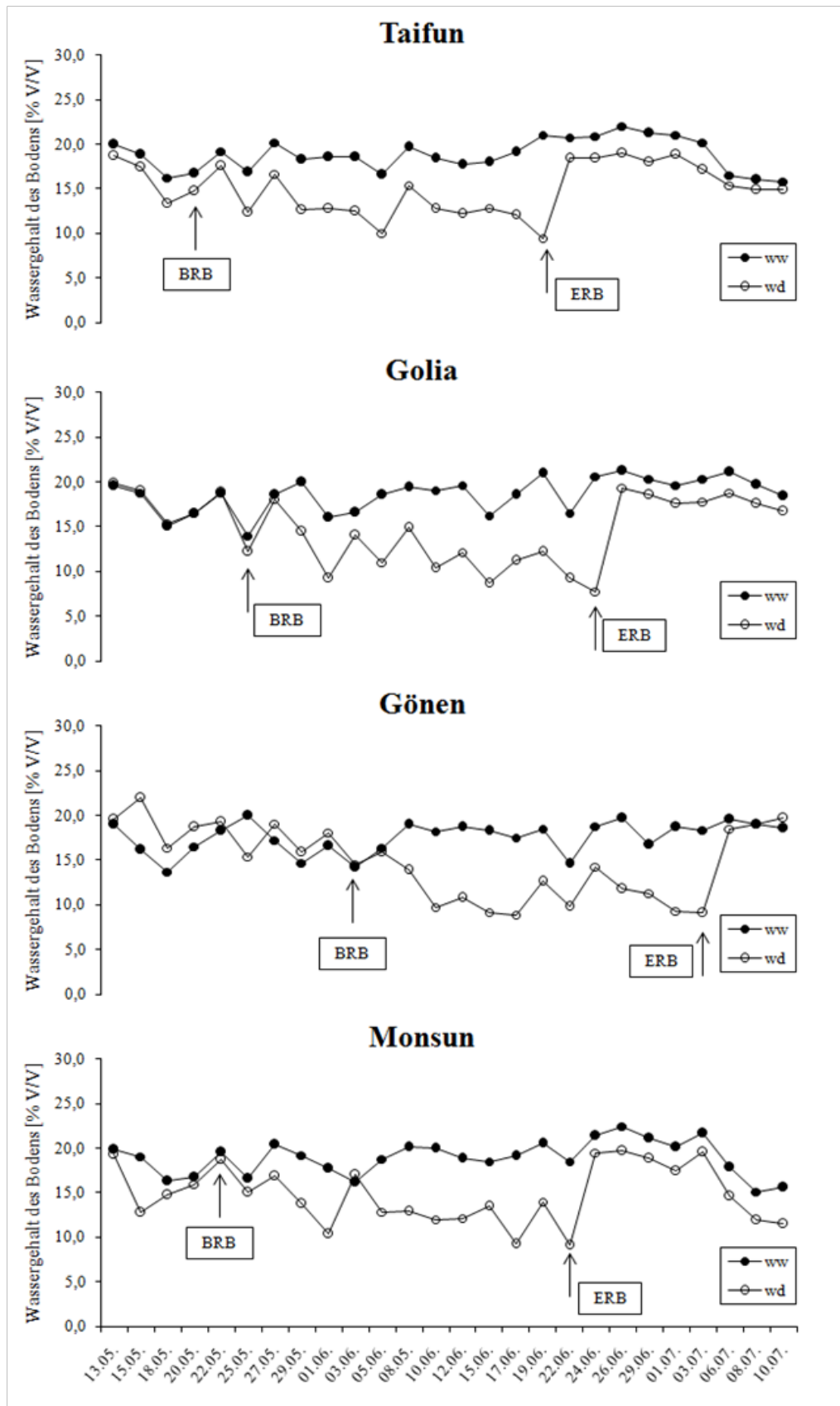


Abb. A 3: Wassergehalt des Bodens im Gefäßversuch 2009 in 10 – 20 cm Tiefe der Sorten Taifun, Golia, Gönen und Monsun während der Phase der restriktiven Bewässerung

BRB=Beginn der restriktiven Bewässerung, ERB=Ende der restriktiven Bewässerung; ww=optimale Bewässerung, wd=restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben

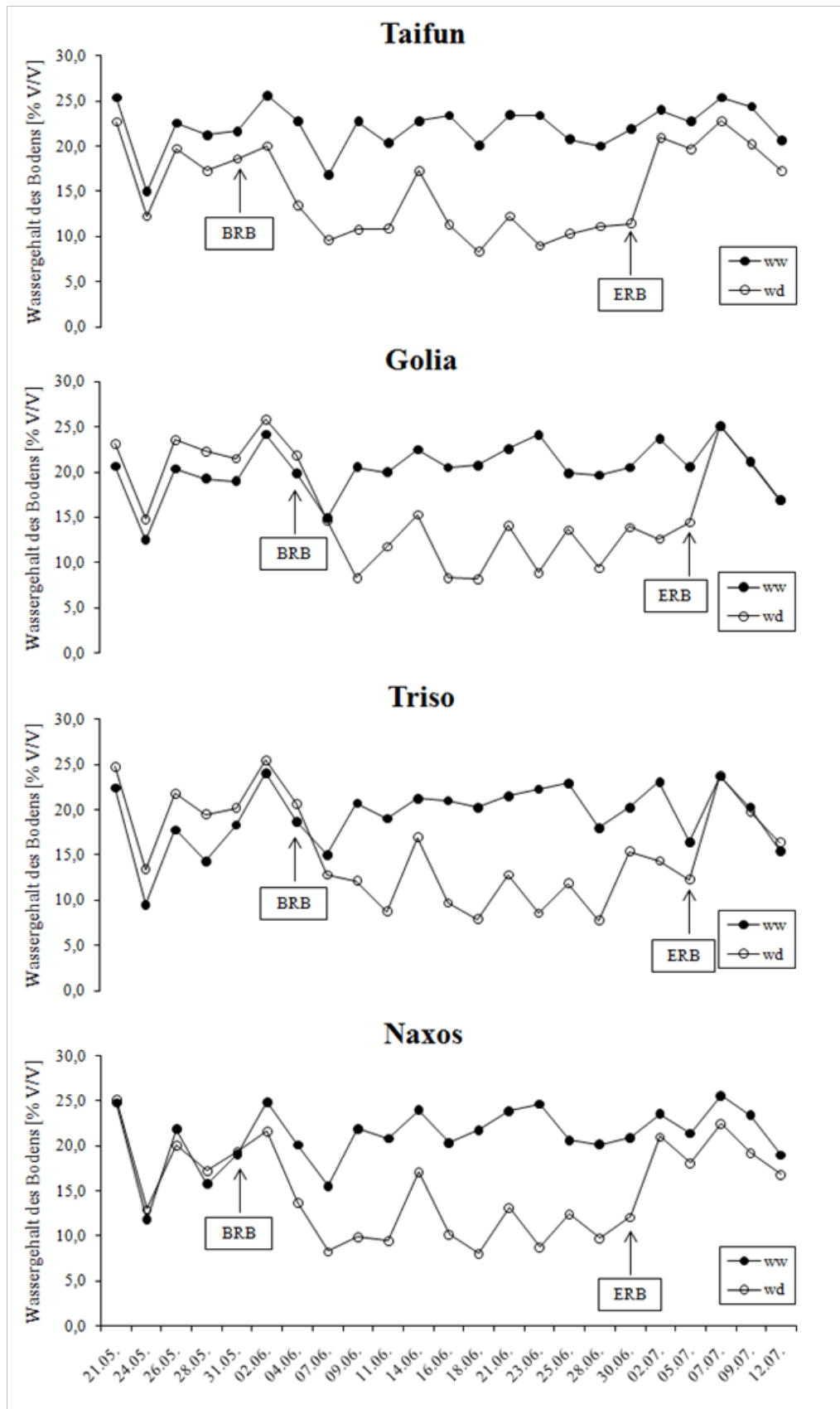


Abb. A 4: Wassergehalt des Bodens im Gefäßversuch 2010 in 10 – 20 cm Tiefe der Sorten Taifun, Golia, Triso und Naxos während der Phase der restriktiven Bewässerung

BRB=Beginn der restriktiven Bewässerung, ERB=Ende der restriktiven Bewässerung; ww=optimale Bewässerung, wd=restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben

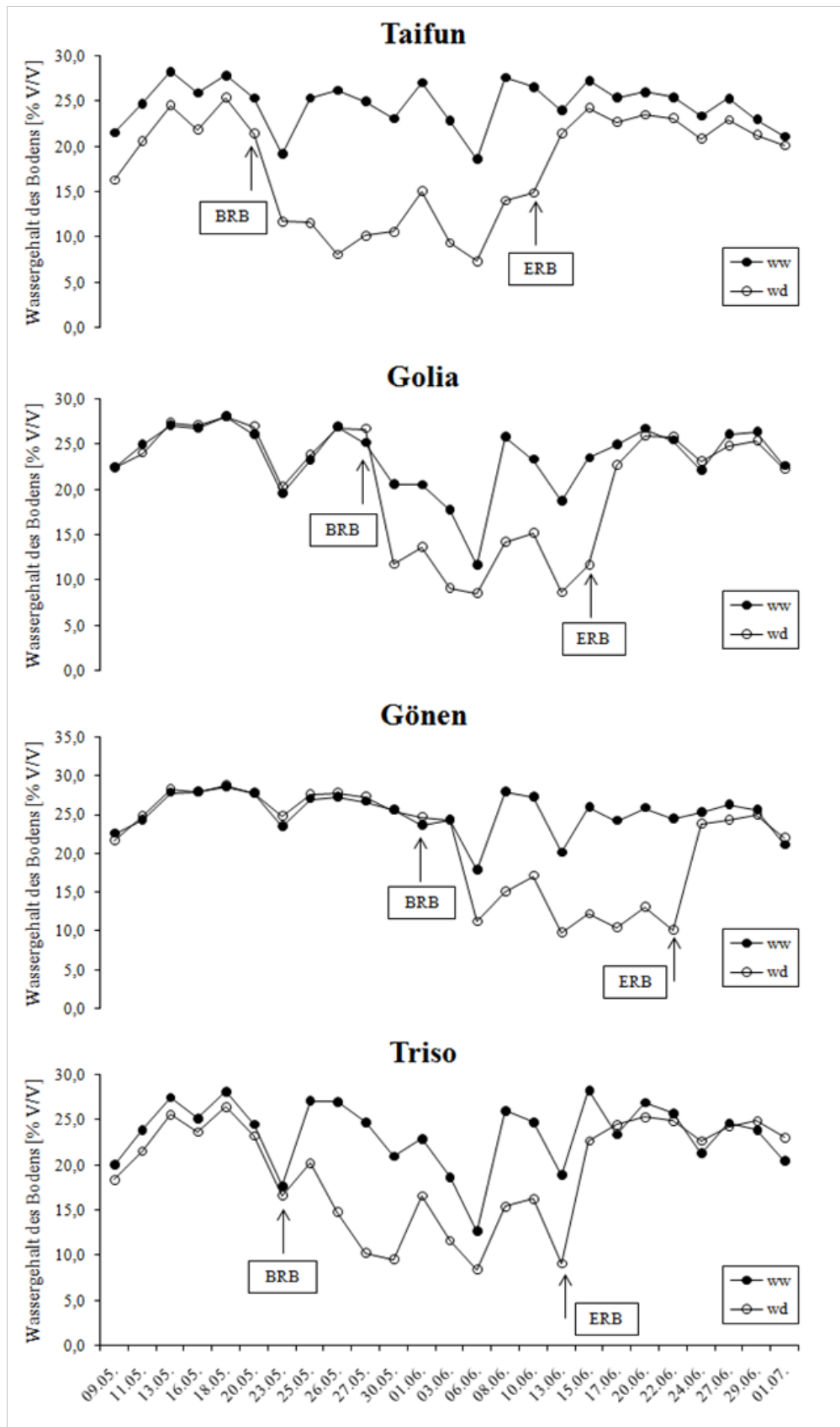


Abb. A 5: Wassergehalt des Bodens im Gefäßversuch 2011 in 10 – 20 cm Tiefe der Sorten Taifun, Golia, Gönen und Triso während der Phase der restriktiven Bewässerung

BRB=Beginn der restriktiven Bewässerung, ERB=Ende der restriktiven Bewässerung; ww=optimale Bewässerung, wd=restriktive Bewässerung nach dem Ährenschieben

Tab. A 1: monatliche Mittel der Lufttemperatur (T_{mit}) und Monatsmittel der Niederschlagshöhen (NS) im Versuchsjahr 2009 (Gefäßversuch) sowie langjährige Mittel am Standort Dahlem (Bezugszeitraum 1971-2000)

	2009		Mittel 1971 – 2000	
	T_{mit} [°C]	NS [mm]	T_{mit} [°C]	NS [mm]
März	5,7 ⁺	41,0 [~]	4,9	37,2
April	14,2 ⁺⁺	4,2 ⁻⁻⁻	9,0	34,0
Mai	14,9 [~]	103,1 ⁺⁺⁺	14,3	50,6
Juni	16,2 [~]	64,3 [~]	16,9	66,0
Juli	19,9 ⁺	61,7 ⁺	18,9	53,1

~ Werte liegen im langjährigen Mittel; +, ++, +++ Werte liegen über langjährigem Mittel; -, --, --- Werte liegen unter dem langjährigen Mittel

Tab. A 2: Wasserzugabe und Wasseraufnahme des lufttrockenen Bodens in [mL] in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Jahr	MW Wasserzugabe	MW Durchlauf	MW Aufgenommenes Wasser
2009	1400	130	1270
2010	1700	30	1670
2011	2500	120	2380

Mittelwerte (MW) von 40 (2009 und 2010) bzw. 48 (2011) Versuchsgefäßen

Tab. A 3: Biomasse [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	Biomasse pro Pflanze [g]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	9,39	9,16 a	14,19 a
	wd	9,01	7,78 b	11,31 b
	MW	9,20 A	8,47 BC	12,75 A
Golia	ww	8,13	8,90 a	12,25 a
	wd	8,69	7,50 b	10,45 b
	MW	8,41 A	8,20 C	11,35 B
Gönen	ww	6,57		9,73 a
	wd	6,53	n.u.	7,71 b
	MW	6,55 B		8,72 C
Triso	ww		10,74 a	15,61 a
	wd	n.u.	8,97 b	10,75 b
	MW		9,86 A	13,18 A
Monsun	ww	9,61		
	wd	9,60	n.u.	n.u.
	MW	9,61 A		
Naxos	ww		9,66 a	
	wd	n.u.	8,27 b	n.u.
	MW		8,96 B	
Bewässerung	ww	8,43 α	9,62 α	12,95 α
	wd	8,46 α	8,13 β	10,06 β
Interaktion	S x B	n.s.	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede: A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Tab. A 4: Korn-Ertrag [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	Korn-Ertrag pro Pflanze [g]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	4,40	4,11 a	6,82 a
	wd	4,20	3,79 b	5,39 b
	MW	4,30 A	3,95 B	6,10 A
Golia	ww	3,36	3,58 a	5,23 a
	wd	3,41	3,14 a	4,60 b
	MW	3,39 B	3,36 C	4,92 B
Gönen	ww	2,43		4,62 a
	wd	2,73	n.u.	3,06 b
	MW	2,58 C		3,91 C
Triso	ww		5,06 a	7,43 a
	wd	n.u.	4,31 b	4,34 b
	MW		4,69 A	5,88 A
Monsun	ww	4,44		
	wd	4,73	n.u.	n.u.
	MW	4,58 A		
Naxos	ww		4,57 a	
	wd	n.u.	4,15 b	n.u.
	MW		4,36 A	
Bewässerung	ww	3,66 α	4,33 α	6,02 α
	wd	3,77 α	3,85 β	4,40 β
Interaktion	S x WR	n.s.	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede: A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Tab. A 5: TM Stroh [g] pro Pflanze in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

Sorte	Behandlung	TM Stroh pro Pflanze [g]		
		2009	2010	2011
Taifun	ww	4,99 a	5,06 a	7,37 a
	wd	4,81 a	4,00 b	5,92 b
	MW	4,90 A	4,53 B	6,65 B
Golia	ww	4,77 a	5,33 a	7,01 a
	wd	5,28 a	4,36 b	5,91 b
	MW	5,02 A	4,85 AB	6,46 B
Gönen	ww	4,14 a		5,39 a
	wd	3,80 a	n.u.	5,17 a
	MW	3,97 B		5,28 C
Triso	ww		5,68 a	8,19 a
	wd	n.u.	4,66 b	6,51 b
	MW		5,17 A	7,35A
Monsun	ww	5,18 a		
	wd	4,88 a	n.u.	n.u.
	MW	5,03 A		
Naxos	ww		5,09 a	
	wd	n.u.	4,11 b	n.u.
	MW		4,60 B	
Bewässerung	ww	4,77 α	5,29 α	6,99 α
	wd	4,69 α	4,28 β	5,88 β
Interaktion	S x WR	*	n.s.	*

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede: A-D: Sortenunterschiede (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; α , β : Unterschiede zwischen optimaler (ww) und restriktiver (wd) Bewässerung (Hauptwirkung) innerhalb eines Jahres; a, b: Unterschiede zwischen optimaler und restriktiver Bewässerung innerhalb einer Sorte und eines Jahres; *=signifikant; n.s.=nicht signifikant; n.u.=nicht untersucht; MW=Mittelwert; S=Sorte; B=Bewässerung

Tab. A 6: Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen Biomasse, Korn-Ertrag, Stroh-Ertrag und den Parametern der Ertragsstruktur in den Gefäßversuchen 2009 bis 2011

	TM	Ertrag	TM Stroh	Kö Ä	Ä Pfl	EKG
TM	1	0,96*	0,93*	0,29*	0,68*	-0,13
Ertrag		1	0,83*	0,30*	0,64*	-0,04
TM Stroh			1	0,24*	0,67*	-0,22*
Kö Ä				1	-0,27*	0,20*
Ä Pfl					1	-0,67*
EKG						1

TM=gesamt gebildete Biomasse; Ertrag=Kornertrag, TM Stroh= Stroh-Ertrag; Kö Ä=Körner pro Ähre; Ä Pfl=Ähren pro Pflanze; EKG=Einzelkorngewicht

Tab. A 7: Wasserverbrauch der untersuchten Sorten in den Intervallen A – BRB, BRB – ERB, ERB – Reife und gesamt im Jahr 2009 in L pro Pflanze

Wasserverbrauch in den Intervallen 2009 [L]					
Sorte	Behandlung	A-BRB	BRB-ERB	ERB-Reife	Gesamt
Taifun	ww	1,07	0,99	0,75	2,81
	wd	1,07	1,14	0,65	2,86
	MW				2,84 B
Golia	ww	1,32	0,92	0,55	2,79
	wd	1,32	0,92	0,56	2,81
	MW				2,80 B
Gönen	ww	1,26	1,00	0,52	2,77
	wd	1,26	0,93	0,45	2,64
	MW				2,71 C
Monsun	ww	1,16	0,98	0,80	2,94
	wd	1,16	0,94	0,79	2,89
	MW				2,91 A
Bewässerung	ww				2,83 a
	wd				2,80 a

ww=optimale Bewässerung, wd=restriktive Bewässerung (nach dem Ährenschieben), A=Aussaat, BRB=Beginn der restriktiven Bewässerung, ERB=Ende der restriktiven Bewässerung, MW=Mittelwert

Tab. A 8: Wasserverbrauch der untersuchten Sorten in den Intervallen A – BRB, BRB – ERB, ERB – Reife und gesamt im Jahr 2010 in L pro Pflanze

Wasserverbrauch in den Intervallen 2010						
Sorte	Behandlung	0-SB	SB-SE	SE-Reife	Gesamt	Differenz %
Taifun	ww	0,74	1,48	0,40	2,63 a	
	wd	0,74	1,08	0,46	2,28 b	-13%
	MW				2,46 C	
Golia	ww	0,86	1,71	0,25	2,82 a	
	wd	0,86	1,06	0,23	2,14 b	-24%
	MW				2,48 C	
Triso	ww	0,99	1,90	0,29	3,17 a	
	wd	0,99	1,10	0,26	2,34 b	-26%
	MW				2,76 A	
Naxos	ww	0,77	1,65	0,45	2,86 a	
	wd	0,77	1,11	0,49	2,37 b	-17%
	MW				2,61 B	
Bewässerung	ww				2,87 α	
	wd				2,28 β	

ww=optimale Bewässerung, wd=restriktive Bewässerung (nach dem Ährenschieben), A=Aussaat, BRB=Beginn der restriktiven Bewässerung, ERB=Ende der restriktiven Bewässerung, MW=Mittelwert

Tab. A 9: Wasserverbrauch der untersuchten Sorten in den Intervallen A – BRB, BRB – ERB, ERB – Reife und gesamt im Jahr 2011 in L pro Pflanze

Wasserverbrauch in den Intervallen 2011						
Sorte	Behandlung	0-SB	SB-SE	SE-Reife	Gesamt	Differenz %
Taifun	ww	1,52	2,07	0,99	4,58 a	
	wd	1,52	0,94	0,97	3,43 b	-25%
	MW				4,00 B	
Golia	ww	1,80	1,92	0,79	4,51 a	
	wd	1,80	0,77	0,82	3,38 b	-25%
	MW				3,95 C	
Gönen	ww	2,03	1,35	0,83	4,20 a	
	wd	2,03	0,37	0,78	3,18 b	-24%
	MW				3,69 D	
Triso	ww	1,85	2,18	1,03	5,06 a	
	wd	1,85	0,87	0,93	3,65 b	-27%
	MW				4,35 A	
Bewässerung	ww				4,59 α	
	wd				3,41 β	

ww=optimale Bewässerung, wd=restriktive Bewässerung (nach dem Ährenschieben), A=Aussaat, BRB=Beginn der restriktiven Bewässerung, ERB=Ende der restriktiven Bewässerung, MW=Mittelwert

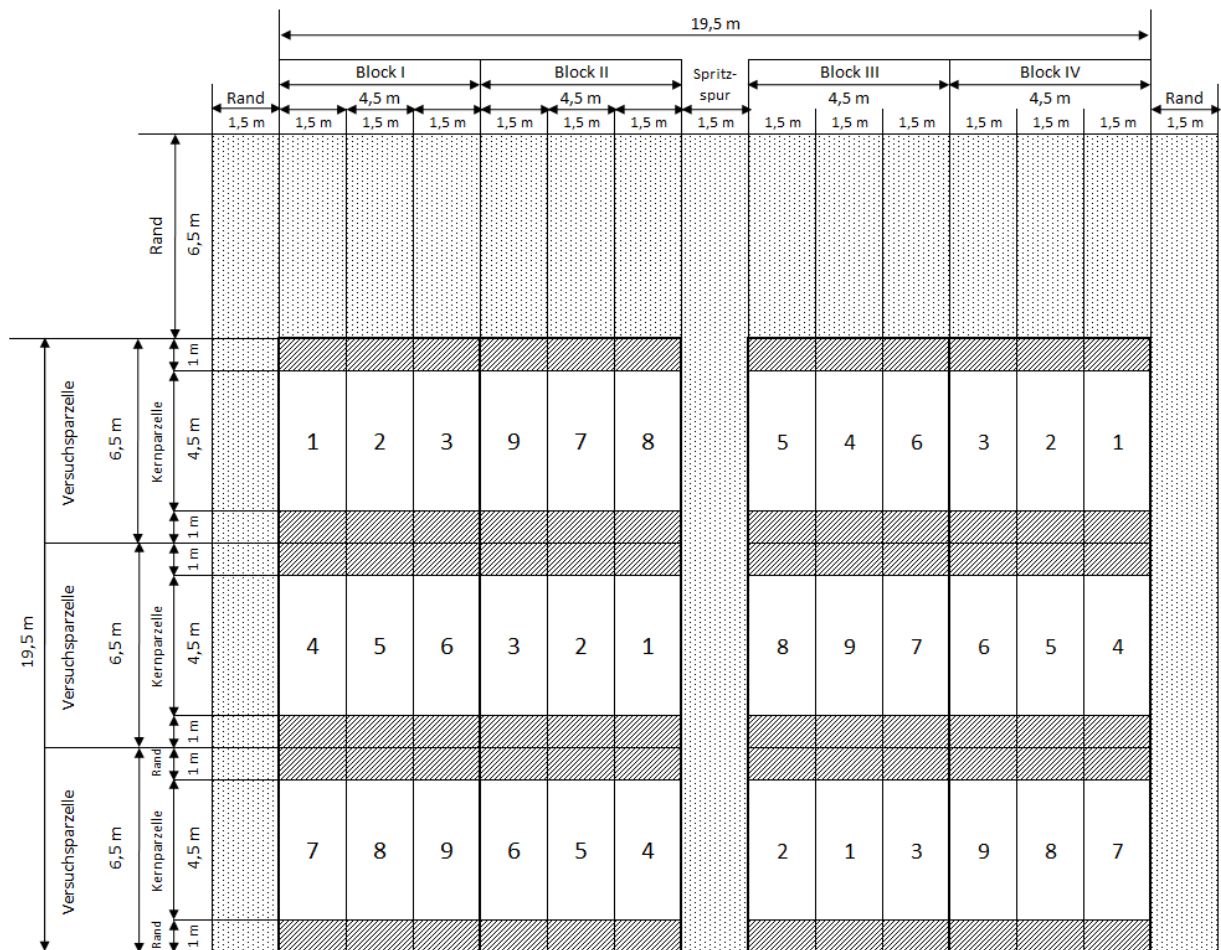


Abb. A 6: Versuchsplan Feldversuch 2010

Zahlen 1-9: Sorten; Römische Zahlen I-IV: Blöcke (Wiederholungen)

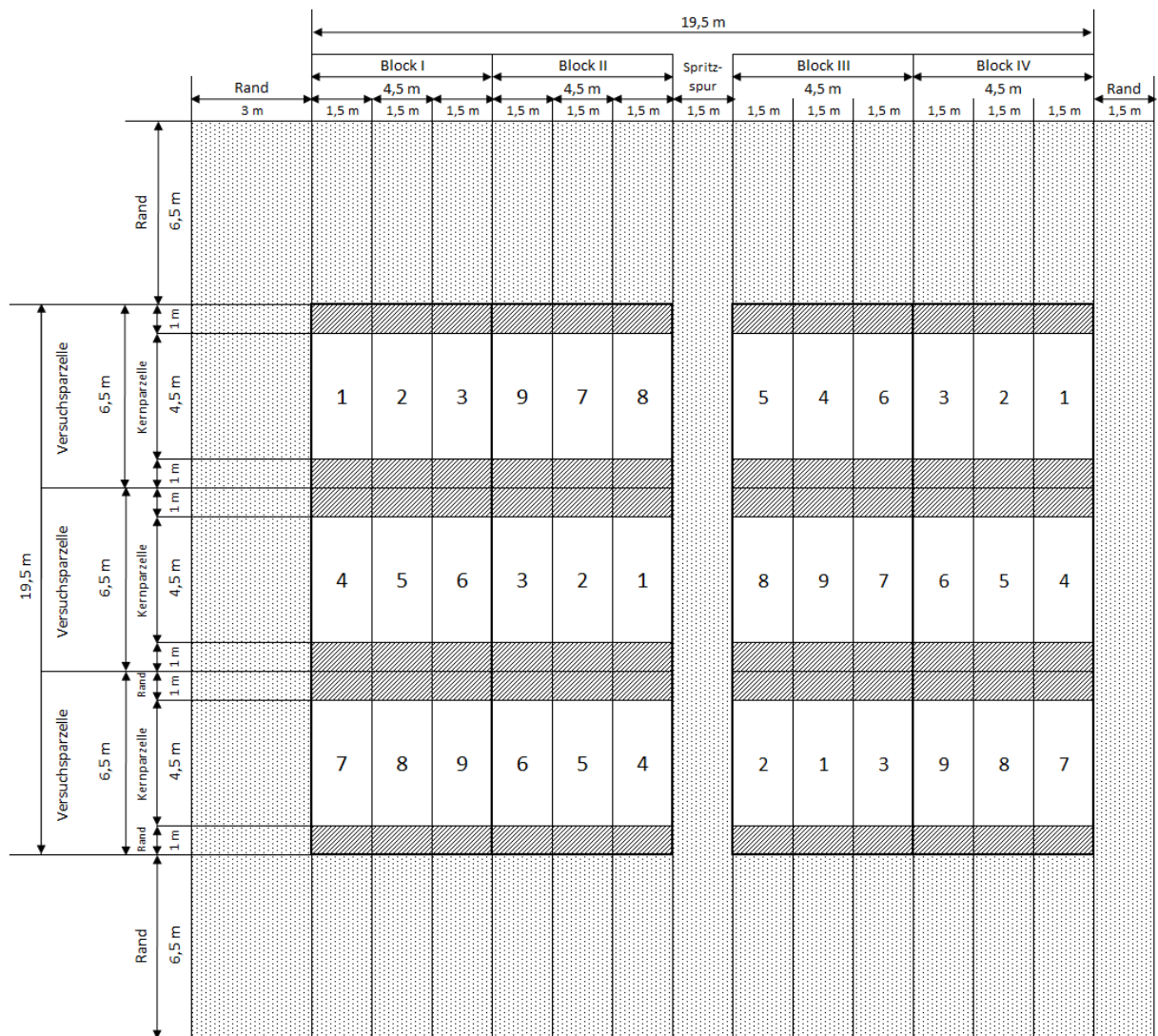


Abb. A 7: Versuchsplan Feldversuch 2011

Zahlen 1-9: Sorten; Römische Zahlen I-IV: Blöcke (Wiederholungen)

Danksagung

Ich bedanke mich ganz herzlich bei allen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr. Helmut Herzog möchte ich für die Überlassung des Themas und die zielorientierte Betreuung meines Promotionsvorhabens danken.

Ich danke Dr. Klaus-Peter Götz für seine fachliche und moralische Unterstützung, als auch für seine stetige Gesprächsbereitschaft und neuen Anregungen bei der Umsetzung des Themas.

Frau Susanne Moryson danke ich für ihre tatkräftige und unermüdliche Unterstützung bei der Durchführung der Versuche und notwendigen Analysen.

Mein Dank geht weiterhin an die Mitarbeiter der Versuchsstation unter Herrn Schmidt für die Hilfe bei der Anlage, Aussaat und Ernte der Feldversuche sowie beim Aufstellen des Vogelschutznetzes, sowie an Herrn Vogel, Herrn Kardel und die studentischen Hilfskräfte Jakob Zunk und Veikko Junghans für ihre Hilfe bei der Entnahme von Bodenproben und Installation der Fiberglasröhren zur Messung des Bodenwassergehaltes mittels PR2.

Den studentischen Hilfskräften Jakob Zunk und Franziska Thiele danke ich ebenfalls für ihre Unterstützung bei der Durchführung von Probenahmen sowohl in strömendem Regen als auch bei schweißtreibenden Temperaturen schon am frühen Morgen sowie eine sehr angenehme Zusammenarbeit mit lustigen und erholsamen Mittagspausen. Dasselbe gilt für die verschiedenen ausländischen Studenten aus dem IAESTE-Programm die mich als Praktikanten in meiner Arbeit unterstützt haben.

Dem Fachgebiet Agrarklimatologie, besonders Herrn Heider, möchte ich für die Bereitstellung der Wetterdaten sowie die technische Unterstützung danken.

Ein weiterer Dank geht an die Mitarbeiterinnen des Zentrallabors Analytik unter Frau Dr. Weiß, besonders Frau Alt, für Analysen und Betreuung meiner studentischen Hilfskräfte bei der Durchführung von Analysen.

Besonderer Dank geht an meinen Lebensgefährten Frank Sieg für seine moralische Unterstützung, sein Verständnis und die Organisation nötiger Ablenkung zwischendurch sowie an meine Eltern, die mich stets in meinen Vorhaben unterstützt und mir dieses Studium ermöglicht haben.